



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

FACULDADE DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS

**DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS  
COMPUTACIONAIS PARA ANÁLISE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO  
DE ÓLEOS ESSENCIAIS VINCULADOS À EXTRAÇÃO POR  
ARRASTE A VAPOR**

**JOÃO HENRIQUE SANTOS DA SILVA**

**BACHAREL EM ADMINISTRAÇÃO  
ÊNFASE EM ANÁLISE DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO**

**DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO  
TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA  
E TECNOLOGIA DE MATERIAIS**

**Porto Alegre**

**JULHO, 2016**



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

FACULDADE DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS

**DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS  
COMPUTACIONAIS PARA ANÁLISE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO  
DE ÓLEOS ESSENCIAIS VINCULADOS À EXTRAÇÃO POR  
ARRASTE A VAPOR**

**JOÃO HENRIQUE SANTOS DA SILVA**

BACHAREL EM ADMINISTRAÇÃO  
ÊNFASE EM ANÁLISE DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

ORIENTADOR: Prof. Dr. RUBEM MÁRIO FIGUEIRÓ VARGAS.

COORIENTADOR: Prof. Dr. EDUARDO CASSEL

Dissertação realizada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais (PGETEMA) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Tecnologia de Materiais.

**Porto Alegre  
JULHO, 2016**



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS

## DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA ANÁLISE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS POR ARRASTE A VAPOR

**CANDIDATO: JOÃO HENRIQUE SANTOS DA SILVA**

Esta Dissertação de Mestrado foi julgada para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

DR. RUBEM MÁRIO FIGUEIRÓ VARGAS - ORIENTADOR

DR. EDUARDO CASSEL - CO-ORIENTADOR

### BANCA EXAMINADORA

DR. GABRIEL FERNANDES PAULETTI - CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E  
BIOLÓGICAS - UCS

DR. MARCUS SEFERIN - DO PGETEMA/FENG - PUCRS

PUCRS

Campus Central

Av. Ipiranga, 6681 - Prédio 30 - Sala 103 - CEP: 90619-900

Telefone: (51) 3353.4059 - Fax: (51) 3320.3625

E-mail: engenharia.pg.materiais@pucrs.br

www.pucrs.br/feng

*“As oportunidades multiplicam-se à  
medida que são agarradas ”*

**Sun Tzu.**

## DEDICATÓRIA

A meus pais, João Estácio da Silva (*in memoriam*) e Anália Santos da Silva, pelo amor, apoio, incentivo e modelo de caráter.

A minha amada Carmem, meu amor, companheira, cúmplice, seguramente alma gêmea, inspiração e eterna companheira.

A Thayse, Luiz Henrique, Enzo, Davi e João meus amores e singelas sementes, razão pela qual dedico parte imperativa de minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Meu sincero agradecimento ao Sr. Luiz Antônio Alves da Silva, Técnico Agrônomo da Pirisa Piretro Industrial Ltda., por proporcionar dados, relatórios e informações necessárias para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Prof. Sérgio Brião Jardim, amigo e incentivador incansável de minha constante busca pelo conhecimento.

A prof.<sup>a</sup> Eleani Costa pelo empenho e dedicação, que possibilitaram a captação de minha bolsa de estudos, pois sem esta, haveria poucas possibilidades de realizar este mestrado.

Ao Diretor da Faculdade de Engenharia Prof. Carlos Alexandre dos Santos, pelo crédito e apoio constante nas inúmeras dificuldades encontradas ao longo deste caminho.

Aos colegas Eduardo Martini, Helena Almeida, Anderson Cardoso, Claudia Marina Silva, Edelvira Petry, Guilherme Vanes Ferreira, Jane Rocha da Silva, Júlio Cesar Germano e Sonia Guterres pelo carinho e apoio.

A Empresa HP (Hewlett-Packard) na pessoa do Sr. Anderson Silva, por incentivar e fomentar este Programa de Pós-Graduação, através de bolsas de estudos, incentivo primordial e definitivo para o custeio de meus estudos.

A Embrapa (Acre) na pessoa do Dr. Eufran Ferreira do Amaral Chefe-Geral da Embrapa Acre e Pesquisador na Área de Processos Pedogenéticos e Planejamento de Uso da Terra.

Um agradecimento especial aos Professores Rubem Mário Figueiró Vargas e Eduardo Cassel que através de seus nobres conhecimentos contribuíram definitivamente para a realização e conclusão desta etapa importante no desenvolvimento da pesquisa.

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA .....</b>	<b>5</b>
<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>6</b>
<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE QUADROS .....</b>	<b>12</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>14</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>16</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>21</b>
2.1. Objetivos Específicos .....	21
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>22</b>
3.1. Fatores de Produção de Óleos Essenciais e Aromas Químicos.....	22
3.1.1. Matérias-Primas.....	23
3.1.2. Óleos Essenciais e Extratos Naturais .....	25
3.2. Processos de Extração .....	27
3.3. Planejamento da Produção .....	29
3.4. Gerenciamento de Atividade de Produção .....	29
3.5. Viabilidade Técnica e Econômica de Óleos Essenciais.....	30
3.6. Escopo Quantitativo de Custos Agroindustriais .....	31
3.7. Modelos de Otimização de Desempenho .....	32
3.8. Pesquisa Operacional .....	33
3.9. Programação Linear.....	36
3.10. Análise Multicriterial .....	40
3.11. Processo Analítico Hierárquico (AHP) .....	40
3.12. Matriz de Avaliação .....	43
3.13. Método da Programação de Compromisso .....	44
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>48</b>
4.1. Obtenção de Óleo Essencial de Pimenta Longa .....	49
4.1.1. Pimenta Longa (Piper hispidinervum) .....	49
4.1.2. Material vegetal.....	50
4.1.3. Arraste a vapor .....	50

4.1.4. Capacidade Produtiva.....	52
<b>4.2. Estrutura da Metodologia Aplicada e Definição do Modelo Matemático.....</b>	<b>52</b>
<b>4.3. Caracterização da Produção e Processo de Extração de Óleo.....</b>	<b>54</b>
<b>4.4. Definição de Parâmetros e Coleta de Dados .....</b>	<b>55</b>
<b>4.5. Descrição do Modelo .....</b>	<b>55</b>
<b>4.6. Sistema EssentialWeb .....</b>	<b>60</b>
4.6.1. Análise dos Requisitos.....	61
4.6.2. Modelagem do Sistema .....	62
4.6.3. UML .....	62
4.6.4. Arquitetura das Fórmulas.....	63
4.6.5. Componentes das Fórmulas.....	64
4.6.6. Desenvolvimento, Configuração e Comercialização .....	65
4.6.7. Dicionário Funcional do Sistema EssentialWeb.....	66
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>67</b>
<b>5.1. Dados Agronômicos da Pimenta Longa.....</b>	<b>67</b>
<b>5.2. Dados experimentais do processo extrativo para modelagem da função objetivo.....</b>	<b>68</b>
<b>5.3. Capacidade produtiva estimada .....</b>	<b>68</b>
<b>5.4. Resultados Econômicos Financeiros.....</b>	<b>69</b>
5.4.1. Estimando Custos e Receitas .....	69
5.4.1.1. Custos Agronômicos Complementares.....	71
5.4.2. Simulação da função objetivo pimenta longa ( <i>Piper hispidinervum</i> ).....	77
5.4.2.1. Resolução da simulação utilizando o MS-Excel (Solver) .....	80
5.4.2.2. Resolvendo Problema de Programação Linear no Solver .....	83
5.4.2.3. Relatórios Gerenciais Após Aplicação do Solver .....	87
5.4.3. Simulação de função objetivo para os óleos essenciais de citronela ( <i>Cymbopogon winterianus</i> ) e capim-limão ( <i>Cymbopogon citratus</i> ) .....	89
5.4.3.1. Resolvendo Problema de Programação Linear no Solver .....	91
5.4.3.2. Relatórios Gerenciais Após Aplicação do Solver – OEs citronela e capim limão.....	92
5.4.4. Simulação de parâmetros no Software EssentialWeb .....	94
5.4.4.1. Construção da Análise.....	95
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>104</b>

<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>106</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>112</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Mercado global de Óleos Essenciais. ....	23
Figura 3.2 - Mercado global de Aromas Químicos. ....	24
Figura 3.3 - Competitividade internacional dos Óleos Essenciais. ....	25
Figura 3.4 – Sistema de destilação por arraste a vapor. ....	28
Figura 3.5 Sistema de hidrodestilação. ....	28
Figura3.6 - Estrutura Hierárquica Básica do AHP .....	41
Figura 4.1 - Fluxograma do equipamento de destilação por arraste a vapor em escala piloto.....	50
Figura 4.2 - Escopo Analítico da Pesquisa.....	53
Figura4.3- Escopo do Desenvolvimento do Modelo Matemático da Pesquisa.....	54
Figura 4.4- Escopo do Desenvolvimento do Modelo Matemático da Pesquisa. ....	60
Figura 4.5- Análise de Requisitos do Sistema EssentialWeb.....	61
Figura 4.6 - Casos de Uso do Sistema EssentialWeb.....	62
Figura 4.7 - Arquitetura das Fórmulas – Sistema EssentialWeb.....	63
Figura 4.8 – Desenho da Modelagem dos Componentes das Fórmulas – Sistema EssentialWeb. ....	65
Figura 5.1 – Ponto de Equilíbrio Financeiro .....	75
Figura 5.2 – Gráfico da evolução econômica financeira.....	77
Figura 5.3 – Programação da Função Objetivo.....	81
Figura 5.4 – Células Variáveis.....	82
Figura 5.5 – Restrições Técnicas.....	82
Figura 5.6 – Células Auxiliares.....	83

Figura 5.7 - Caixa de diálogo dos Parâmetros da Ferramenta Solver.....	84
Figura 5.8 - Janela Adicionar restrição com a 1ª restrição do modelo proposto definida. .....	85
Figura 5.9 - Caixa de diálogo Opções do Solver.....	85
Figura 5.10 - Janela do Solver com as definições da simulação.....	86
Figura 5.11 - Janela de Resultados do Solver.....	86
Figura 5.12–Resultado final da planilha após rodar o Solver – Pimenta Longa. ....	87
Figura 5.13 – Relatório de Respostas da Simulação (Solver) – Pimenta longa. ....	87
Figura 5.14 - Relatório de Sensibilidade da Simulação (Solver) – Pimenta longa.....	88
Figura 5.15 - Resultado final da planilha após rodar o Solver – Citronela e Capim limão. .....	92
Figura 5.16 - Relatório de Respostas da Simulação (Solver) – Citronela e Capim limão. .....	93
Figura 5.17 - Relatório de Sensibilidade da Simulação (Solver) – Citronela e Capim limão.....	93
Figura 5.18 - Tela inicial do sistema EssentialWeb.....	95
Figura 5.19 – Estruturação das variáveis e pesos do Cenário 1.....	99
Figura 5.20- Classificação do ranking de eficiência (matéria prima) Cenário 1.....	100
Figura 5.21- Estruturação das variáveis e pesos do Cenário 2.....	102
Figura 5.22- Tela de classificação do ranking de eficiência (matéria prima) Cenário 2.....	103

## LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 - Escala Fundamental de Saaty.....	42
Quadro 3.2 – Matriz de Avaliação das Alternativas de Solução.....	43
Quadro 4.1 – Modelo de dados para função objetivo.....	58
Quadro 5.1 – Dados agrônômico da pimenta longa.....	68
Quadro 5.2 – Custos pré-operacionais.....	69
Quadro 5.3 – Capital de giro mensal.....	69
Quadro 5.4 – Custo Fixo Geral.....	70
Quadro 5.5– Composição do Custo Variável Unitário.....	70
Quadro 5.6 – Custo Variável Anual.....	70
Quadro 5.7 – Depreciação Anual.....	71
Quadro 5.8 – Custos Agrônômicos Complementares.....	71
Quadro 5.9 – Composição do preço de venda Óleo Essencial.....	73
Quadro 5.10 – Composição do preço de venda Hidrolato.....	73
Quadro 5.11 – Receita de Vendas Anual de Óleo Essencial de Pimenta Longa.....	73
Quadro 5.12 - Receita de Vendas Anual de Hidrolato.....	74
Quadro 5.13 – Ponto de Equilíbrio.....	75
Quadro 5.14 - Demonstrativo do Resultado do Exercício (DRE).....	76
Quadro 5.15 - Fluxo de caixa sobre o capital próprio.....	76
Quadro 5.16 – Matriz de Avaliação.....	97
Quadro 5.17 - Matriz de Avaliação (Medidas das Variáveis Cenário 1).....	98
Quadro 5.18 – Classificação das Cotas de Eficiência (Cenário 1).....	99

Quadro 5.19 - Matriz de Avaliação (Medidas das Variáveis Cenário 2) .....	101
Quadro 5.20 – Classificação das Cotas de Eficiência (cenário 2) .....	102

## RESUMO

SILVA, JOÃO HENRIQUE SANTOS DA. **Desenvolvimento e Aplicação de Ferramentas Computacionais para Análise Econômica da Produção de Óleos Essenciais Vinculados à Extração por Arraste a Vapor**. Porto Alegre. 2016. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL.

O Brasil possui uma das maiores diversidades genéticas vegetais do mundo, consistindo em uma complexidade de mais de 2 milhões de espécies distintas, sendo, portanto, um país potencial para o desenvolvimento de processos aplicados a produtos naturais. Os meios de produção, a viabilidade econômica e os recursos empregados no mercado são lacunas que devem ser preenchidas por este setor para que se alcance um novo patamar no cenário internacional. No contexto organizacional há grande interesse em dados fidedignos, bem como a preocupação na geração de informações corretas que, também, visam possibilitar abertura para novas oportunidades de investimento com relevante importância de mercado. É neste constante processo de melhoria na qualidade dos sistemas de produtividade, sobretudo para o desenvolvimento de novas técnicas que possam ser padronizadas na busca de melhores resultados, que os modelos matemáticos oferecem um diferencial importante, possibilitando aspectos de segurança na produção, explorando as características únicas que cada tipo de insumo e tornando mais acurada a identificação e verificação de processo, com fins de resultar aumentos de lucratividade e diminuição de custos. Inserida neste cenário, esta pesquisa busca desenvolver uma solução em modelo econômico financeiro que possa agregar qualidade e segurança na obtenção de melhores resultados em processos de extração, mediante o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que estime custo e preço de um óleo essencial obtido por arraste a vapor. As informações geradas pelo modelo têm o objetivo de verificar o desempenho de três diferentes tipos de plantas: citronela (*Cymbopogon winterianus*), capim-limão (*Cymbopogon citratus*) e pimenta longa (*Piper hispidinervum*). Este software, onde o modelo matemático foi implantado, estima o desempenho econômico e financeiro do processo de extração de óleos essenciais por arraste a vapor, destacando quais os parâmetros e resultados são recomendados para cada espécie vegetal avaliada. Para atingir os principais objetivos de pesquisa foram utilizadas duas ferramentas metodológicas conjugadas: a pesquisa

operacional (adotando a técnica de programação linear), com foco em definir uma função objetivo de maximização de lucros e a técnica de análise multicriterial para a tomada de decisão de investimentos, combinando com os métodos de Processo Analítico Hierárquico (AHP) e Programação de Compromisso.

Os resultados obtidos através da metodologia apresentaram a maximização de lucro referente a simulação do processo de produção de pimenta longa (*Piper hispidinervum*), houve aumento na receita de vendas na ordem de 2,9% passando de R\$ 226.226,88 para R\$ 233.012,74 , com preço de venda de óleo essencial de pimenta longa estimado em R\$ 214,32 (duzentos e quatorze reais e trinta e dois centavos) bem como a referência de preço de 1 litro de hidrolato foi de R\$ 32,13 (20% do valor de venda de óleo essencial de pimenta longa). As simulações de tomada de decisão que compararam tanto o desempenho econômico, quanto o de produção apresentaram a espécie de Citronela como a de melhor desempenho econômico com cota de desempenho de 28,50% (0,2850), com as espécies de pimenta longa 31,12 % (0,3112) e capim-limão 40,37% (0,4037) em segundo e terceira posição respectivamente conforme a lógica deste modelo. Na abordagem de processo de produção a espécie de Capim-limão obteve a melhor posição com cota de desempenho de 32,59% (0,3259), seguida de Pimenta longa 33,50 % (0,3349) e Citronela de 33,91% (0,3391) na última posição. As duas simulações apresentaram resultados interessantes, sob a abordagem econômica as espécies de Pimenta longa e Capim-limão precisam melhorar seus indicativos em relação à espécie de Citronela, já na simulação de processos de produção todas as espécies apresentam resultados muito parecidos, e assim podem ser interpretados como um possível empate técnico.

Palavras-chave: Óleos essenciais, Pimenta longa, P.O., Produção, Ferramentas computacionais.

## ABSTRACT

SILVA, JOÃO HENRIQUE SANTOS DA. **Development and Application of Computational Tools for Economic Analysis of the Production of Essential Oils Related to the Steam Drag Extraction. Porto Alegre. 2016.** Masters. Post-Graduation Program in Materials Engineering and Technology, PONTIFICAL CATHOLIC UNIVERSITY OF RIO GRANDE DO SUL.

Brazil has a major plant genetic diversity of the world, consisting of a complex of more than 2 million different species, and therefore a potential for developing country process applied to natural products. The means of production, economic viability and the resources used in the market are gaps to be filled by this sector in order to reach a new level in the international arena. In the organizational context there is great interest in reliable data, as well as concern in generating correct information that also are designed to allow openness to new investment opportunities with relevant important market. It is in this constant process of improving the quality of productivity systems, particularly for the development of new techniques that can be standardized in the search for better results, that mathematical models offer an important advantage, enabling safety aspects in production, exploring the unique features each type of input and making more accurate identification and verification process, with the purpose of result profitability increases and lower costs. Inserted in this scenario, this research seeks to develop a solution in financial and economic model that can add quality and safety in getting better results in extraction processes, by developing a computational tool to estimate cost and price of an essential oil obtained by drag steam. The information generated by the model are intended to verify the performance of three different types of plants: citronella (*Cymbopogon winterianus*), lemongrass (*Cymbopogon citratus*) and long pepper (*Piper hispidinervum*). This software, where the mathematical model was implemented, economic and financial performance of the essential oils extraction process by steam distillation, highlighting what parameters and results are recommended for each plant species evaluated. To achieve the main research objectives were used two combined methodological tools: operational research (adopting the linear programming technique), with a focus on defining a profit maximization objective function and the multi-criteria analysis technique for making investment decisions combining with the methods of Analytic Hierarchy Process (AHP) and Commitment Schedule. The results obtained using the methodology presented

maximizing profits for the simulation of long pepper production process (*Piper hispidinervum*), there was an increase in sales revenue in the order of 2.9% from R\$ 226,226.88 to R\$ 233,012, 74, with essential oil selling price of long pepper estimated at R \$ 214.32 (two hundred and fourteen reais and thirty two cents) and the reference price of 1 liter of hydrolate was R\$ 32.13 (20% of the essential oil sales value of long pepper). The decision-making simulations that compared both economic performance, and the production had the kind of citronella as the best economic performance with performance share of 28.50% (0.2850), with the long pepper species 31 12% (0.3112) and capim lemon 40.37% (0.4037) in second and third respectively as the logic of this model. In the production process of the kind of approach Lemongrass obtained the best position with 32.59% performance dimension (0.3259), followed by long pepper 33.50% (0.3349) and Citronella 33.91 % (0.3391) in the last position. The two simulations showed interesting results, under the economic approach species long and Lemongrass pepper need to improve their indicative in relation to the kind of Citronella, since the simulation of production processes all species have very similar results, and thus can be interpreted as a possible technical tie.

Keywords: Essential oils, long pepper, P.O., Production, computational tools.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o país com a maior diversidade genética vegetal do mundo, com excelentes condições edafoclimáticas contando com mais de 55.000 espécies nativas catalogadas, de um total estimado entre 350.000 a 550.000 (Simões et al., 1999), consistindo em importante potencial de desenvolvimento socioeconômico para o país como fonte de corantes, óleos vegetais, gorduras, fitoterápicos, antioxidantes e óleos essenciais para o setor produtivo. Industrialmente os óleos essenciais e/ou produtos derivados são empregados como matérias-primas para as indústrias de higiene e limpeza, alimentos, bebidas, perfumaria, farmacêutica e cosmética, além de apresentarem atividade antimicrobiana, antifúngica e antioxidante.

Segundo Sartor (2009), o crescimento da produção de óleos essenciais na América Latina está fortemente baseado em dois componentes da cadeia produtiva: o desenvolvimento agrônomo de plantas aromáticas e a inserção de metodologias analíticas avançadas que determinam a composição destes óleos. Entretanto, o processo produtivo de óleos essenciais continua sendo um gargalo a ser resolvido por este setor industrial.

A carência tecnológica é um dos motivos que dificultam a descrição precisa dos processos de extração de óleos essenciais por destilação por arraste a vapor em escala industrial. Alguns aspectos são importantes neste sentido, como a falta de informações experimentais sobre o comportamento da extração ao longo do leito, normalmente preenchidos com as partes aéreas das plantas aromáticas e a dificuldade na obtenção de dados exatos sobre a quantidade total de óleo na matéria-prima. Esta última é definida como a quantidade máxima de óleo essencial que pode ser extraída da massa verde que, conseqüentemente, varia de acordo com o processo extrativo e as suas condições operacionais.

O viés econômico financeiro salutar para perpetuar a continuidade das atividades de determinadas empresas, mostra-se dependente sobre tudo das condições ambientais que influenciam significativamente a matéria-prima, tornando os processos, que envolvem produtos naturais, peculiares no setor químico. Esta peculiaridade está associada à variação das propriedades da matéria-prima em função das condições ambientais, visto que as empresas químicas tradicionais estão acostumadas a receber matérias-primas sempre com as mesmas propriedades.

Todas estas variáveis são importantes em relação aos retornos em investimentos quando analisados por um modelo econômico. Segundo Bizzo et al. (2009), os produtores de óleos essenciais buscam, entre outras metas, colaborar na aproximação entre os produtores e os centros de pesquisa nacionais para agregar qualidade aos óleos através de pesquisa e estudos de padronização.

Conforme Steffens (2010), a técnica de extração por arraste a vapor é o método mais utilizado pela indústria de óleos essenciais, tanto pela sua eficácia de extração, quanto pelo baixo custo, com possibilidades de extração em grande escala. Existem diversos trabalhos que analisam e comparam as composições químicas dos óleos essenciais obtidos das mais diversas fontes vegetais. Estes trabalhos, geralmente, são baseados nas pesquisas em escala laboratorial, ficando explícita a escassez de estudos sobre o tema óleos essenciais em escala piloto e industrial. Observa-se também que a diversidade das espécies de plantas aromáticas e o desenvolvimento de novos métodos para obtenção dos óleos produzem uma série de obstáculos para esta sistematização econômica do processo industrial.

É fundamental que os processos de produção estejam relacionados em todas as áreas da economia, seja na indústria manufatureira ou empreendimentos agrícolas, pois constituem fatores importantes para definir estratégias de produção: *definir o que produzir, definir o quanto produzir e definir para quando produzir.*

Nesta pesquisa será realizado um estudo sobre os parâmetros econômicos financeiros dos processos de extração dos óleos essenciais de citronela (*Cymbopogon winterianus*), capim-limão (*Cymbopogon citratus*) e pimenta longa (*Piper hispidinervum*). Associar-se-á a este estudo um tratamento analítico utilizando

técnicas de pesquisa operacional na busca da criação de uma metodologia que resulte em uma função objetivo para a maximização do lucro, formulação e otimização de preços de óleos essenciais. Nesta análise serão avaliados os custos agrônômicos, os custos do processo de extração e os custos indiretos de um processo de arraste a vapor em escala piloto, tendo em vista uma futura extrapolação para uma escala industrial. Alguns pesquisadores têm se debruçado sobre esta questão de forma investigativa e conclusiva a estes processos associados. Na esteira destes estudos, este trabalho busca aproximar conhecimentos técnicos e econômicos de ordem acadêmica ao contexto industrial.

Com base neste cenário é possível formular uma pergunta à pesquisa:

Como um modelo matemático via software poderá otimizar o processo de extração de óleos essenciais por arraste a vapor e quais os parâmetros e resultados serão possíveis comparar em escala industrial que possam atender de forma eficiente à demanda deste mercado maximizando lucro e otimizando preço de venda?

## 2. OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é desenvolver uma metodologia em modelo econômico financeiro aplicável à estimação de custos associados aos processos industriais de produção de óleos essenciais por arraste a vapor via software, com foco em lucro e formação ótima de preços.

### 2.1. Objetivos Específicos

Para atender ao objetivo geral, estratificamos abaixo os objetivos específicos:

- a) **Estabelecer uma metodologia de análise:** que apure a melhor abordagem para captação de informações da cadeia produtiva de extração de óleos essenciais, identificando os principais custos envolvidos na produção para formação de preço de venda.
- b) **Estabelecer uma metodologia operacional:** para que a partir de um processo de extração de óleo essencial em escala piloto, aplicando um modelo matemático econômico financeiro seja possível traçar um paralelo entre os resultados obtidos em escalas piloto e industrial.
- c) **Elaborar a sistemática do modelo via software:** a partir do desenvolvimento de uma função objetivo que maximize o lucro, padronizando assim o modelo do ponto de vista econômico-financeiro como forma de otimizar os processos de produção, e conseqüentemente maximizar o lucro financeiro na produção de óleos essenciais. Além de ranquear os resultados obtidos de modo a comparar a eficiência de cenários econômicos financeiros.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os avanços no desenvolvimento industrial nos últimos anos requerem uma maior atenção à organização, ao planejamento e à aquisição de ferramentas estratégicas para produção. O mercado de óleos essenciais, objeto deste estudo é derivado da cadeia produtiva do agronegócio, que conseqüentemente, também necessita de igual atenção, principalmente para medir os processos de produção, investimentos e, se estes encontram-se em sintonia com margens de venda e lucro do negócio.

Antigamente a ciência da administração ou administração operacional eram campos integralmente especializados, com necessidade de conhecimento avançado em cálculos matemáticos, economia e linguagens de programação. Atualmente, com proliferação de novos cenários tecnológicos e com infraestrutura computacional disseminada, existem inúmeras possibilidades de melhorias no processo de produção, como modelos prontos de otimização de produção, bem como ambiente favorável para o desenvolvimento de novas metodologias que possibilitem inovadores processos produtivos.

#### 3.1. Fatores de Produção de Óleos Essenciais e Aromas Químicos

Segundo Sartor (2009), o Brasil possui um dos maiores potenciais para produção de riquezas provenientes da sua biodiversidade e das facilidades territoriais e climáticas existentes em seu território. Se o país garantir o desenvolvimento tecnológico da área de processo de extração, poderá deixar a posição de fornecedor de matéria-prima e passar à posição de produtor de extratos vegetais, óleos voláteis e/ou princípios ativos de alto valor agregado.

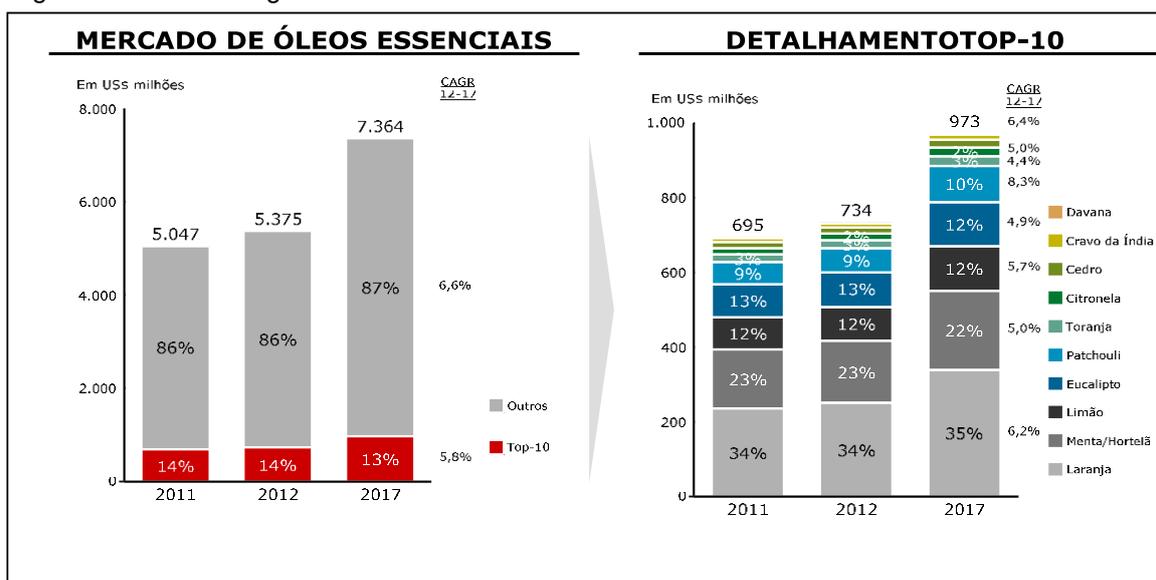
Bizzo et al. (2009) realizaram minucioso estudo com variadas espécies de plantas que dominam o mercado de óleos essenciais no Brasil. O produto desta pesquisa apresentou números expressivos da cadeia de produção de óleos essenciais pela técnica de extração por arraste a vapor. A pesquisa focou em 27 produtos entre os quais 07 óleos essenciais de cítricos (laranja, bergamota, *petitgrain* de laranja,

limão e lima), 04 óleos de mentas (hortelã-pimenta – *Mentha piperita*, menta japonesa - *M. arvensis*, menta *spearmint* - *M. viridis* e óleos de outras mentas), 04 óleos de flores (gerânio, jasmim, alfazema ou lavanda), 04 óleos de madeira (pau-rosa, pau-santo – *Bulnesia sarmientoi* L, cabreúva e cedro) e o restante de folhas, como citronela, capim-limão, palma rosa e o óleo de eucalipto, além do vetiver e “outros óleos de vetiver” e óleo da semente de coentro, além de outros óleos essenciais sem a descrição detalhada de produtos. O óleo essencial de pau-rosa, por exemplo, é vendido de US\$ 50 a 100/kg e, no período de janeiro de 2005 a outubro de 2008, foram exportados 121 t, perfazendo US\$ 9,4 milhões, ou seja, um valor médio de US\$ 77/kg. O principal Estado exportador foi o Amazonas (80%). O óleo foi exportado principalmente para os EUA (58%) e a União Europeia (41%).

### 3.1.1. Matérias-Primas

As principais matérias-primas do segmento são: (i) óleos essenciais e extratos naturais e (ii) aromas sintéticos. Esses insumos são essenciais ao segmento em estudo, compondo parcela substancial do custo de produção de aromas, sabores e fragrâncias. A balança comercial se caracteriza como exportadora em ambos os casos (Bain Company, 2014).

Figura 3.1 - Mercado global de Óleos Essenciais.

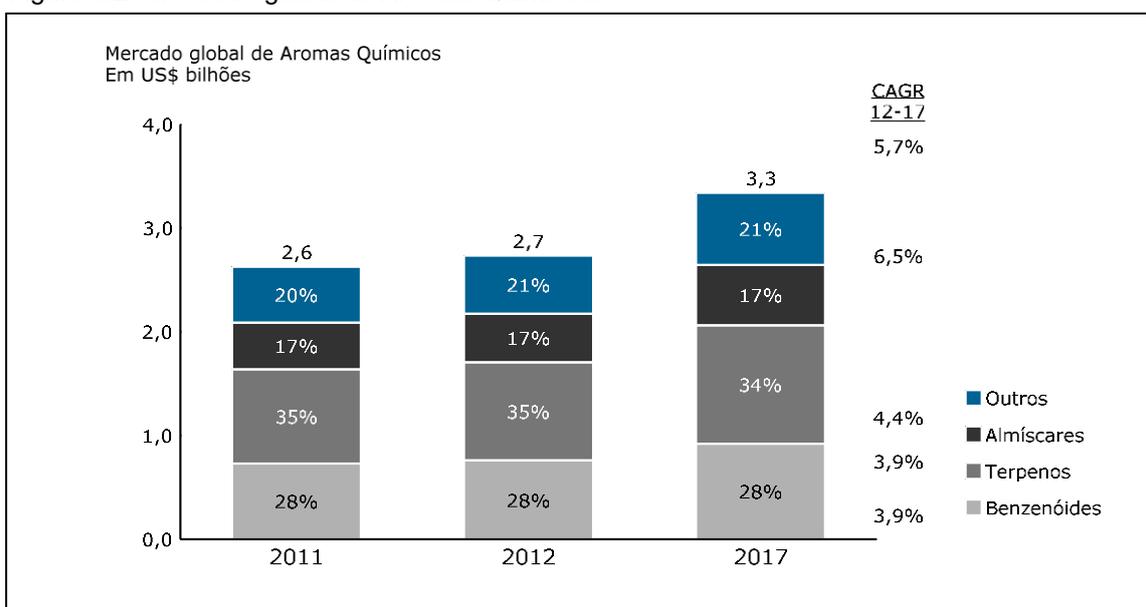


Fonte: Bain & Company (2014).

O subsegmento de óleos essenciais e extratos naturais tem maior representatividade e deve crescer de maneira mais acelerada, 6,5% ao ano, e o de aromas químicos, menos representativo, 5,7% ao ano (Figuras 3.1 e 3.2).

Os dois subsegmentos de matéria-prima (fragrâncias, aromas e sabores) têm mercados de porte inferior em relação aos outros dois (consumidores: cosméticos e higiene pessoal, produtos de limpeza e alimentos e bebidas), tendo movimentado 8,1 bilhões de dólares em 2012. É esperado que tais subsegmentos atinjam 10,7 bilhões de dólares em 2017.

Figura 3.2 - Mercado global de Aromas Químicos.



Fonte: Bain & Company (2014).

O leque de matérias-primas utilizadas no segmento é diversificado, uma vez que a produção de aroma e sabor demanda, em média, de 50 a 100 ingredientes, e uma fragrância, de 100 a 150 ingredientes. Conforme apresentado, o Brasil não possui produção suficiente de boa parte desses ingredientes, de modo que os mesmos acabam sendo importados. Essa necessidade de importação, entretanto, não tem impedido o crescimento e a geração de novos investimentos no setor. Uma característica do segmento no Brasil é a existência de empresas especializadas na importação de ingredientes, as quais distribuem insumos para *players* menores, sem capacidade de importação direta (Bain e Company, 2014).

### 3.1.2. Óleos Essenciais e Extratos Naturais

Segundo Bain e Company (2014), óleos essenciais são produtos voláteis de origem vegetal, obtidos por processos físicos de diversas partes da planta. Exemplos desses processos é a destilação por arraste com vapor d'água e a destilação a pressão reduzida. Os extratos naturais são ingredientes obtidos, por esgotamento a frio ou a quente, de produtos de origem animal ou vegetal com o uso de solventes que, posteriormente, podem ou não ser eliminados. Somados, estes dois grupos constituem o subsegmento óleos essenciais e extratos naturais.

Entre os óleos essenciais com produção destacada no Brasil encontram-se laranja, limão, cravo e eucalipto (Figura 3.3). No mercado de óleo essencial de laranja, o Brasil é o maior exportador global, superando outras regiões de alta produtividade como a Flórida (Estados Unidos). Três *players* de grande porte concentram 85% da produção mundial: Cutrale, Citrosuco e Louis Dreyfus.

Figura 3.3 - Competitividade internacional dos Óleos Essenciais.

ÓLEO ESSENCIAL	DÉFICIT EM 2012 (US\$)	PRINCIPAIS PRODUTORES	COMPETITIVIDADE NACIONAL	COMENTÁRIOS
Menta/Hortelã	\$ 24.830.280			Perda de competitividade decorrente das condições nutricionais do solo
Limão	\$ 7.640.662			Há potencial de cultura no sul do Brasil
Patchouli	\$ 4.207.567			O desenvolvimento de tecnologia pode resultar na produção nacional de óleos dessa espécie
Cravo	\$ 2.906.777			O Brasil já é o terceiro maior produtor mundial (cultivo no Sul da Bahia, por pequenos produtores)
Noz Moscada	\$ 1.169.426			A árvore é cultivada apenas no sul da Bahia, devido ao clima tropical marítimo, e tem potencial para produção de óleo
Lavanda	\$ 781.661			A Lavanda demanda regiões de alta altitude, com vento e solo árido, disponíveis em baixa quantidade no Brasil
Sândalo	\$ 610.195			A árvore corre risco de extinção e são necessários 40 anos após o plantio para extração do óleo
Alecrim	\$ 547.489			O Ceará apresenta potencial para a exportação da espécie Alecrim-Pimenta e já há uma empresa realizando a atividade
Gengibre	\$ 198.066			O cultivo brasileiro é voltado à exportação in natura, mas a produtividade é baixa comparada aos países líderes
Eucalipto	\$ 131.104			O País apresenta alta produtividade na produção de madeira de eucalipto e potencial para extração de óleos essenciais
Laranja	-\$ 122.138.264			O Brasil é o maior exportador global e São Paulo se apresenta como uma região de alta produtividade

Fonte: Aliceweb, Bain & Company (2014).

Conforme Simões et al. (1999), os constituintes químicos encontrados no reino vegetal são sintetizados e degradados por inúmeras reações anabólicas e catabólicas, que compõem o metabolismo das plantas. A síntese de compostos essenciais para a sobrevivência das espécies vegetais tais como açúcares, aminoácidos, ácidos graxos, nucleotídeos e seus polímeros derivados, faz parte do metabolismo primário das plantas. Por outro lado, os compostos sintetizados por outras vias e que aparentam não ter grande utilidade na sobrevivência das espécies, grupo de compostos onde se enquadram os óleos essenciais, fazem parte do metabolismo secundário, porém estes garantem vantagens para sua sobrevivência e perpetuação de sua espécie em seu ecossistema.

Segundo Bizzo et al. (2009), o Brasil tem lugar de destaque na produção de óleos essenciais, ao lado da Índia, China e Indonésia, que são considerados os 4 grandes produtores mundiais. A posição do Brasil se deve aos óleos cítricos, que são subprodutos da indústria de sucos. No período de janeiro de 2005 a outubro de 2008, o Brasil exportou US\$ (FOB) 309,5 milhões contra US\$ (FOB) 171,2 milhões importados, sendo que os óleos oriundos de cítricos responderam por 93% das exportações. A importação brasileira de óleos essenciais resultou num montante de 8.938 ton., enquanto que para a exportação o montante foi de 119.772 ton., para esse mesmo período.

Conforme Bain e Company (2014), o País poderia alavancar sua vocação agrícola para ganhar relevância na produção de produtos nos quais possui maior competitividade. No caso do eucalipto, por exemplo, o Brasil apresenta a maior produtividade mundial, equivalente a cerca de 60m<sup>3</sup>/ha, demonstrando potencial para produção e exportação dos derivados desse produto.

O Brasil destaca-se na produção mundial de óleo essencial, mas sofre de problemas crônicos como falta de manutenção do padrão de qualidade dos óleos, representatividade nacional e baixos investimentos governamentais no setor, que levam ao quadro estacionário (Bizzo, 2009).

### 3.2. Processos de Extração

Segundo Leal (2008), em relação à extração, o primeiro objetivo da engenharia de processamento é encontrar um processo com bom desempenho quanto ao rendimento, qualidade, tempo de operação (produtividade) e custo. Sendo assim, o melhor resultado com relação ao rendimento e/ou qualidade do produto final devem ser alcançados.

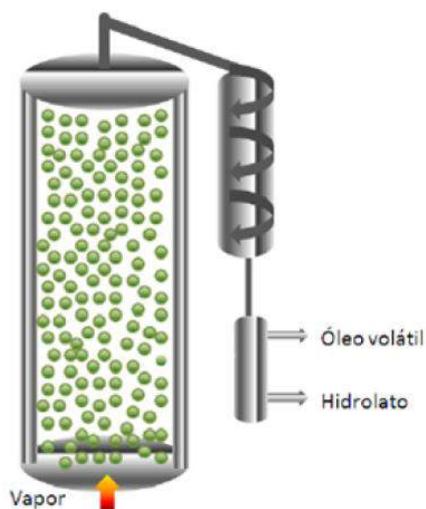
Sartor (2009) afirma que os processos tradicionais empregados para obter óleos essenciais são a destilação por arraste a vapor e a hidrodestilação. A destilação, utilizando vapor de água, é uma operação unitária baseada na diferença de volatilidade de determinados compostos presentes na matéria-prima vegetal.

Conforme Cassel e Vargas (2006), a destilação por arraste a vapor é um processo tradicional utilizado na obtenção dos óleos essenciais a partir das folhas e caules de plantas aromáticas. A destilação por arraste a vapor é muito usada pela indústria por ser barata quando comparada a métodos tecnológicos mais avançados como a extração com fluido supercrítico.

A primeira etapa do processo consiste na geração de vapor em uma caldeira. Este permeia pelo material vegetal, contido no extrator, arrastando os compostos voláteis das plantas aromáticas. Em seguida estes vapores são resfriados no condensador, onde ocorre a liquefação dos mesmos e, em seguida, a separação da fase óleo e da fase água em um decantador.

A diferença básica entre a destilação por arraste a vapor (Figura 3.4) e a hidrodestilação (Figura 3.5) é que, na segunda, a matéria-prima está submersa em água enquanto na primeira, o vapor passa pela matéria-prima. Existem poucos estudos sistemáticos para se conhecer os fenômenos que controlam o processo e permitam entendê-lo física ou quimicamente, com o propósito de simular, controlar e otimizar eficientemente a operação industrial (Chavez, 2007).

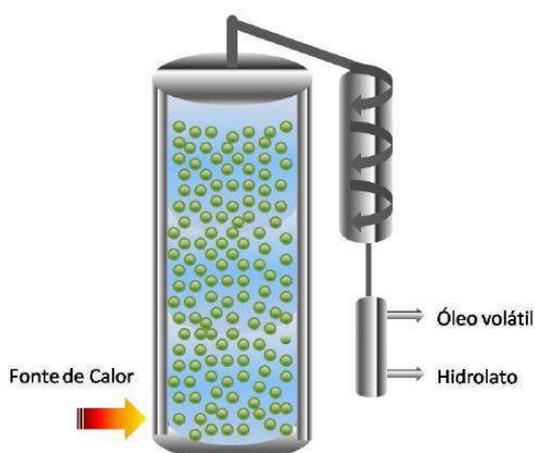
Figura 3.4 – Sistema de destilação por arraste a vapor.



Fonte: Leal (2008).

Segundo Leal (2008), neste processo dois produtos são obtidos: óleo essencial e hidrolato. Pequenas quantidades de compostos aromatizantes estão presentes no hidrolato, conferindo a ele agradável fragrância. Vários hidrolatos provenientes de flores e folhas possuem grande potencial de uso como fragrância nas indústrias de cosméticos, alimentos e farmacêuticas. Os hidrolatos podem ser usados em formulações em meio aquoso de cosméticos, cremes, loções, sabonetes, alimentos, bebidas e como aromatizante de ambientes. No entanto, é muito comum hidrolatos serem descartados pelas destilarias que não conhecem o grande potencial de aplicação e conseqüentemente venda.

Figura 3.5 Sistema de hidrodestilação.



Fonte: Leal (2008).

### **3.3. Planejamento da Produção**

Segundo Tanure et al. (2009), a utilização de novos modelos de gerenciamento e técnicas de suporte a decisão veem a auxiliar fortemente o produtor agrícola na tomada de decisão, consolidando-se como uma ferramenta poderosa de validação para implantar novas tecnologias e, conseqüentemente, descartar aquelas já obsoletas.

Segundo Caixeta-Filho (2004), em todo e qualquer negócio, seja um empreendimento rural ou de produção seriada industrial, a primeira pergunta em questão é qual ou quais serão os produtos a serem produzidos? Quais quantidades? Possuo os recursos disponíveis para o retorno desejado? Complementarmente outros fatores de decisão devem ser alinhados segundo as seguintes premissas como: condições de absorção do produto no mercado e características dos recursos disponíveis para venda.

Segundo o Sebrae Nacional (2016), a gestão da produção é uma importante ferramenta para garantir o controle das rotinas, eliminar as perdas de produção, manter os estoques em níveis adequados e atender clientes no prazo com menor custo e qualidade, ou seja, assegurar a competitividade da empresa.

Segundo Oliszeski (2011), é evidente que quando se fala em empresa ou empreendimento agrícola a quantidade a ser produzida estará inicialmente vinculada à decisão do que produzir (fortemente associada ao mínimo economicamente aceitável), à área disponível (adequadamente associado ao máximo possível) e à demanda ou restrições do mercado, isto é, ao estudo recomendado a quantidades contratadas.

### **3.4. Gerenciamento de Atividade de Produção**

Brossier (1990) afirma que o indivíduo isoladamente não é suficiente para tomar decisões e, tratando-se de tomada de decisões, nem sempre a decisão é pela otimização de modelos, mas sim a solução mais correta ou satisfatória, isto é, o

empreendimento agrícola ou empresarial possui fortes relações com o ambiente e este poderá trazer a garantia de benefícios, mas também impõe limitações.

Segundo Marion (2000), a importância de um sistema de custos colabora diretamente aos objetivos de uma empresa, sedimentando a importância como ferramenta básica para o gerenciamento produtivo de qualquer empreendimento, especialmente na agroindústria, cujos espaços de tempo entre custos e receitas, associados também, as margens de lucro, produção e vendas extrapolam a simplicidade em relação a outros tipos de negócios. Complementarmente, Marion (2000) propõe uma classificação que contempla os principais itens relevantes aos conceitos sobre custos agrícolas, que por normalização e contextualização global são apresentados em três tópicos:

- I. Quanto à natureza: referente à identidade daquilo que foi consumido na produção.
- II. Quanto à identificação com o produto: referente a maior ou menor facilidade de identificar custos com os produtos, através de uma medição precisa dos insumos utilizados e da relevância do seu valor ou rateio de custos.
- III. Quanto a sua variação quantitativa: referente ao comportamento dos custos em relação às quantidades produzidas, ou seja, os custos podem variar proporcionalmente ao volume produzido ou podem permanecer constantes, independentemente do volume.

### **3.5. Viabilidade Técnica e Econômica de Óleos Essenciais**

O mercado de produção de óleos essenciais ainda carece de informações que conciliem a área técnica e econômica, mas por outro lado, esta lacuna oferece uma ótima oportunidade para novos estudos, principalmente na abordagem de custos de produção de óleos essenciais, visando o desenvolvimento de novas metodologias e consideráveis avanços tecnológicos nestes processos de extração e produção (Cassel e Vargas, 2006).

O estudo de Vivan et al. (2011) apresentou resultados econômicos sobre processos de extração de óleo essencial de eucalipto. A análise de viabilidade

econômica demonstrou um desempenho positivo, em especial quanto à mobilidade, flexibilidade de utilização, minimização de espaços ociosos e uso de água em circuito semifechado. Já Castro (2005) reuniu e analisou dados referentes aos custos de produção de *Melaleuca alternifolia*, onde se fixaram parâmetros mínimos, médios e máximos para as distribuições de probabilidade triangular dos custos de implantação, manutenção, colheita, destilação e da receita, oriundos do projeto de produção do óleo essencial, permitindo uma melhor avaliação dos indicadores econômicos perante a análise de risco.

Os estudos de viabilidade técnica e econômica apresentados por Reis et al. (2010), sobre a citronela (*Cymbopogon winterianus*) e Valle et al. (2014), sobre capim-limão (*Cymbopogon citratus*), apresentaram os principais indicadores econômicos através do levantamento dos custos e receitas do cultivo da planta e extração do óleo essencial. Os modelos utilizados pelos autores consideraram variáveis de capacidade de produção, custos fixos, custo variáveis, custo de aquisição de matérias prima e mão de obra.

### 3.6. Escopo Quantitativo de Custos Agroindustriais

Segundo Oliszeski (2011), um estudo bem elaborado das operações deve ser crucial para atender à crescente demanda do mercado por produtos de alta qualidade. Visualizar os processos de apuração e alocação de custos diretos e indiretos de fabricação é fundamental para uma boa e eficiente gestão nos processos de produção.

Na Equação 3.1, adaptada de Oliszeski (2011), visualiza-se a perspectiva que elenca, sob o ponto de vista de custos gerais ou globais, a estruturação dos principais custos que determinadas empresas agrícolas comportam:

$$Cg = \sum_{i=1}^n V_i P_i + \sum_{m=1}^n I_m P_m + \sum_{q=1}^m C_n P_n \quad (3.1)$$

onde:

Cg – Custos globais ou gerais.

V – Elemento de custo das atividades de extração de óleo.

I - Elemento de custo das atividades agroindustriais.

C - Elemento de custo das atividades complementares.

P – Custo unitário do item de custo.

i – Quantidade de elementos de custos de atividades de extração de óleo.

m – Quantidade de elementos de custos das atividades agroindustriais.

q – Quantidade de elementos de custos das atividades complementares.

### **3.7. Modelos de Otimização de Desempenho**

Segundo Oliszeski (2011), modelos de otimização de resultados, como a Pesquisa Operacional, têm sido aplicados em vários setores importantes como transportes, energia, telecomunicações, finanças e também, no setor de agronegócio. Neste sentido, a modelagem por simulação tem se tornado uma das técnicas de análise de sistemas complexos mais populares e de melhor custo-benefício, assim o entendimento das técnicas de simulação se torna importante (Barradas et al., 2010). Por consequência, cresce também o interesse por investigações científicas que utilizem a simulação computacional combinada com outras técnicas que possam complementar as análises. Exemplificando a importância dos processos de otimização, Bortolaia (2012) desenvolveu um modelo matemático e um programa computacional para simular o processo de secagem de soja em secadores do tipo torre de coluna com fluxo contínuo e múltiplos estágios. Caixeta Filho (2004) afirma que uma das aplicações mais clássicas da programação linear, referente à Pesquisa Operacional, diz respeito ao planejamento agrícola, ou de forma geral, ao planejamento agroindustrial.

Frossard (2009) demonstram a importância da programação linear como ferramenta de suporte para a solução de problemas na área de custos nas organizações. Para alcançar seus objetivos, as empresas devem estar atentas às diversas restrições apresentadas, tanto em nível interno, como resultantes de fatores externos estabelecidos, dentre outros, pelo mercado.

Segundo Souza (2008), ferramentas de suporte à decisão como o Processo Analítico Hierárquico (AHP) permitem incorporar à análise não somente aspectos econômico-financeiros do risco, mas avaliar a influência de fatores sistemáticos, operacionais, financeiros, estratégicos, de recursos humanos e administrativos no custo de capital de uma empresa.

Fernandez (2009) utilizou a formulação de modelos de processos adequados para o planejamento da produção em refinarias de petróleo. Inicialmente, foi formulado um modelo empírico para unidade de destilação o qual foi validado com sucesso usando um simulador rigoroso de processos. Os modelos de planejamento da produção foram resolvidos com sucesso demonstrando eficiência nos processos de produção da refinaria.

### 3.8. Pesquisa Operacional

Segundo Hillier e Lieberman (2010), a Pesquisa Operacional (PO) teve impacto impressionante na melhoria da eficiência de inúmeras organizações no mundo. No processo, a PO deu uma contribuição significativa no aumento de produtividade das economias de diversos países. As origens da PO podem ser remontadas muitas décadas atrás quando foram feitas tentativas iniciais no emprego de uma abordagem científica na gestão das organizações. Porém, o início da atividade, assim denominada "*Pesquisa Operacional*", geralmente é atribuído às atividades militares nos primórdios da Segunda Guerra Mundial. Talvez o indicador mais expressivo no início da aplicação de PO tenha sido o "*Empreendimento de Guerra*", pois havia necessidade extrema de países como Estados Unidos e Grã-Bretanha de alocar recursos de forma eficiente, uma vez que estes eram escassos.

Hiller e Lieberman (2010), afirmam que após a Guerra, com os sucessos da aplicação da PO (a vitória da Guerra do Atlântico Norte só foi possível devido a PO desenvolvida pelos cientistas americanos e britânicos), houve interesse de sua aplicação em outros ambientes externos ao militar. À medida que se ia desenrolando o *boom* industrial pós-guerra, os problemas causados pela crescente complexidade e especialização nas organizações foram novamente ganhando o primeiro plano. Problemas esses similares aos encontrados pelos cientistas na guerra, ou seja, houve

um desenvolvimento substancial da PO neste momento devido às demandas da época e ao crescente processo de industrialização das nações. No início dos anos 1950, a PO já estava introduzida em organizações de variados setores, como por exemplo: comercial, industrial e governamental.

Segundo Hiller e Lieberman (2010) é necessário estruturar um roteiro inicial para abordar problemas de PO. O roteiro abaixo não segue uma regra, mas pode ser adotado como modelo pela sua simplicidade de compreensão. Primeiramente, é necessário obter-se:

- Um padrão de desempenho que permita o julgamento de decisões.
- Uma definição das variáveis controláveis;
- Uma definição das variáveis relevantes ao problema e incontroláveis;
- Uma função objetivo que relacione as variáveis de maneira a medir o desempenho, mostrando como estimar o resultado de qualquer decisão.
- Um previsor necessário para prever resultados de qualquer decisão dentro de determinadas faixas de variação das variáveis incontroláveis.

Segundo Labib et al. (2014), técnicas de pesquisa operacional ajudam a formular um modelo de tomada de decisão estratégico que representa diferentes fatores e alternativas, auxiliando na avaliação de suas prioridades, e nos mecanismos de tomada de decisão.

Conforme Soto-Silva et al (2016), a cadeia de fornecimento de frutas frescas é caracterizada por longos prazos de fornecimento combinada com oferta significativa e incertezas de demanda com margens relativamente pequenas. A aplicação de modelos matemáticos para maximizar resultados se mostrou satisfatório e apontou novos rumos a serem pesquisados, como por exemplo, novos e significativos problemas enfrentados pela indústria com a falta de abordagens holísticas e gestão da cadeia de distribuição de frutas frescas neste mercado.

Foi discutido por Plà, et al (2013), uma nova abordagem sobre o futuro da pesquisa operacional para as indústrias agrícolas em sentido amplo, incluindo a

horticultura e viticultura. Durante um período de aumento da pressão sobre os recursos naturais, os autores usaram a sua experiência na área, juntamente com a literatura publicada no artigo, para desenhar *insights* sobre novas oportunidades de aplicação da pesquisa operacional, e como os estudiosos podem perceber essas oportunidades nesse mercado tão dinâmico. Mercados com importantes indicativos na procura para a segurança alimentar e produção de biocombustíveis, a busca pela sustentabilidade, desenvolvimento de tecnologia da informação (TI), e associação ao poder comercial na criação de novas oportunidades para apoiar o investimento estratégico e gestão de operações dentro da produção primária e nas cadeias de abastecimento relacionados.

Os tipos de modelos de PO são definidos da seguinte forma:

- Modelos matemáticos (determinísticos ou probabilísticos, lineares ou não lineares);
- Quanto aos objetivos (descritivos, explorativos, preditivos, prescritivos, normativos e operacionais).
- Quanto aos meios de construção (icônicos, analógicos, simbólicos verbais e simbólicos matemáticos);
- Quanto ao fator tempo (estáticos ou dinâmicos);
- Quanto à amplitude (abrangentes ou parciais).

Além da metodologia aplicada na solução de problemas de pesquisa operacional, o meio como se dá, a via desta solução evoluiu muito após o final da 2ª Guerra Mundial, surgiram programas avançados que auxiliaram em muito a resolução de problemas complexos. O Método Simplex desenvolvido pelo matemático estadunidense George Bernard Dantzig em 1947, e considerado pai da programação linear (*Linear Programming*) e autor da declaração formal do problema de transporte, trouxe avanços importantes quanto à otimização matemática através da programação.

### 3.9. Programação Linear

Segundo Silva (2010), uma das técnicas mais utilizadas na abordagem de problemas em PO é a programação linear. A simplicidade do modelo envolvido e a disponibilidade de uma técnica de solução programável em computador facilitam sua aplicação. As aplicações mais conhecidas são feitas em sistemas estruturados, como os de produção, finanças, controles de estoques entre outros. Este modelo matemático de programação linear é composto de uma função objetiva linear e de restrições técnicas representadas por um grupo de inequações também lineares.

Exemplo: Função objetivo a ser maximizada:  $\text{Lucro} = 2x_1 + 3x_2$

$$\text{Restrições} \left\{ \begin{array}{l} \text{Técnicas} \begin{cases} 4x_1 + 3x_2 \leq 10 \\ 6x_1 - x_2 \geq 20 \end{cases} \\ \\ \text{de não negatividade} \begin{cases} x_1 \geq 0 \\ x_2 \geq 0 \end{cases} \end{array} \right.$$

Afirma Silva (2010) que as variáveis controladas ou variáveis de decisão, no exemplo acima, são  $x_1$  e  $x_2$ . A função objetivo ou função de eficiência mede o desempenho do sistema, no caso a capacidade de gerar lucro, para cada solução apresentada. O objetivo é maximizar o lucro. As restrições garantem que essas soluções estejam de acordo com as limitações técnicas impostas pelo sistema. As duas últimas restrições exigem a não negatividade das variáveis de decisão, o que deverá acontecer sempre que a técnica de abordagem for a de programação linear.

Segundo Frossard (2009), a construção do modelo matemático, no caso um modelo linear, é a parte mais complicada de um estudo. Não há regra fixa em seu desenvolvimento, mas os autores sugerem um roteiro que ajuda a ordenar o raciocínio, por exemplo:

- Quais são as variáveis de decisão? Indicam as quantidades a produzir, decisões de investimento – É a pergunta do problema.

- Qual o objetivo? Expressão que calcula o valor do objetivo – lucro, prejuízo, custo, receita, outros.
- Quais as restrições? Expressam como uma relação linear de igualdade ou desigualdade – quantidades, necessidades mínimas, distância a percorrer, outros.

A fim de resolver os problemas de incerteza graves no projeto da cadeia de fornecimento de biocombustíveis, Ren et al. (2015), desenvolveu, através da aplicação de programação linear, um modelo para otimizar um problema grave no custo do ciclo de vida de cadeia de fornecimento de biocombustíveis sob incertezas. Foram considerados neste modelo itens voltados à agricultura, como tipos de transporte e o modo de transporte de grãos e biocombustível, a operação de várias usinas de biocombustíveis, e centros de mercado, e o preço dos recursos, o rendimento de grãos e suas respectivas demandas de mercado.

Segundo Frossard (2009), para o desenvolvimento e realização de problemas de programação linear é necessário fixar algumas hipóteses iniciais como:

- Validar o modelo por uma unidade de tempo – dia, semana, mês, valendo-se da premissa de não existir variação de custos e preços na unidade de tempo considerada;
- Que os preços sejam constantes tanto no lado da demanda como da oferta, visto que a variação de preço exigiria um modelo não linear;
- Estimar que os custos reagem de maneira linear, alguns estritamente variáveis, outros fixos e, ainda, outros poderem ter variação mista;
- Atestar que hipótese linear é plenamente justificada porque se o preço varia no tempo, sempre é possível maximizar os objetivos, podendo segmentar o tempo quando o preço for fixo, daí maximizar o lucro para cada segmento. Se o preço variar em relação à quantidade ofertada é possível criar restrições correspondente a essa variação e encontrar o ponto ótimo para cada nível de preço ofertado.

Complementa Frossard (2009) que outra vantagem encontrada na utilização da programação linear é devida a esta técnica buscar um valor ótimo em pontos extremos de um conjunto convexo, cujas relações entre as variáveis são precipuamente lineares, isto é, o que importa na decisão é a relação entre as margens de contribuição advindas dos preços e os custos variáveis de produção.

Segundo Hillier e Lieberman (2010), Programação Linear é um modelo matemático de otimização no qual todas as funções são lineares. Isso determina que cada variável que aparece na formulação do problema está na forma conforme demonstrado:

$$k \cdot x$$

onde:

k: representa uma constante e;

x: determina a variável.

O segundo conceito importante da programação linear é o de somatório (Equação 3.3):

$$a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + a_4 \cdot x_4 \dots a_n \cdot x_n$$

$$\sum_{j=1}^n a_j \cdot x_j \tag{3.3}$$

Desta forma, a formulação para maximização do lucro é dada conforme a Equação 3.4:

$$\text{(Otimizar) Max } L = \sum_{j=1}^n c_j \cdot x_j \tag{3.4}$$

Sujeito às seguintes restrições apresentadas nas Equações 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8:

$$\sum_{j=1}^m a_{1,j} \cdot x_j = b_1 \tag{3.5}$$

.....

$$\sum_{j=1}^m a_{2,j} \cdot x_j \leq b_2 \tag{3.6}$$

.....

$$\sum_{j=1}^m a_{i,j} \cdot x_j \leq b_j \quad (3.7)$$

.....

$$\sum_{j=1}^m a_{n,j} \cdot x_j \leq b_m \quad (3.8)$$

onde:

m = índices das variáveis de decisão;

n = número de restrições;

a = j-ésima coluna da matriz de restrições  $A = \{ij\}$ ;

b = limite máximos e mínimos das restrições.

Os estudos de Delgado-matas e Pukkala (2014) utilizaram programação linear para analisar alternativas de uso da terra no sistema de agricultura tradicional Umbundu no planalto central de Angola. Os agricultores da região produzem milho e leguminosas para a subsistência e vegetais e madeira como culturas de rendimento. Houve a formulação de três problemas com variadas restrições encontradas do problema de programação linear que após seu processamento otimizaram e garantiram comida, produção de lenha e área suficiente de pastagem para os animais. Dentre os três sistemas desenvolvidos se destacam dois aspectos importantes, a redução da necessidade das mulheres de trabalho durante a alta temporada e o aumento da área de produção de madeira em 57%.

Shaneb, Taylor e Coates (2012) apresentaram excelentes resultados com seu modelo matemático de programação linear aplicado a  $\mu$ CHP *online* residencial (Sistema Combinado de Geração de Calor e Energia). O sistema utiliza o biogás gerado pelo processo de tratamento de esgotos como combustível para gerar eletricidade e energia térmica. O diferencial encontrado foi a otimização advinda da programação linear que reduziu os custos de operação na geração de energia em comparação com as estratégias de operação pré-determinados convencionais em todos os cenários investigados, que consequentemente reduziu a emissão de gases do efeito estufa como o CO<sub>2</sub>.

### 3.10. Análise Multicriterial

No estudo de Pesquisa Operacional, área importante das engenharias, em especial a engenharia de produção, encontram-se vários métodos de auxílio à tomada de decisão, utilizando múltiplos critérios.

Segundo Souza (2008), Análise Multicriterial se caracteriza por elencar tipos específicos de tomada de decisão que acabam se tornando mais complexos, pois envolvem: racionalidade limitada, multidecisores, incerteza e multicritérios, elementos esses que tem caráter tanto qualitativo como quantitativo em conjunto com modelos matemáticos que norteiam o caráter decisório de uma organização.

A pesquisa de Bausch et al. (2014) utilizou a combinação análise de decisão multicritério e análise de sistema como uma abordagem unificada para avaliação da sustentabilidade. Foi avaliada e discutidas a sustentabilidade agrícola, com base em exemplos, a partir de uma avaliação da sustentabilidade ambiental da produção comercial de milho irrigado em Sinaloa (México). Os resultados demonstraram que decisão por múltiplos critérios (*MCDM - Multiple Criteria Decision Making*) proporciona uma abordagem prática, flexível, sistemática, transparente, e reproduzível para documentar, analisar e avaliar a sustentabilidade da agricultura e desenvolver recomendações para melhoraria sistêmica da região.

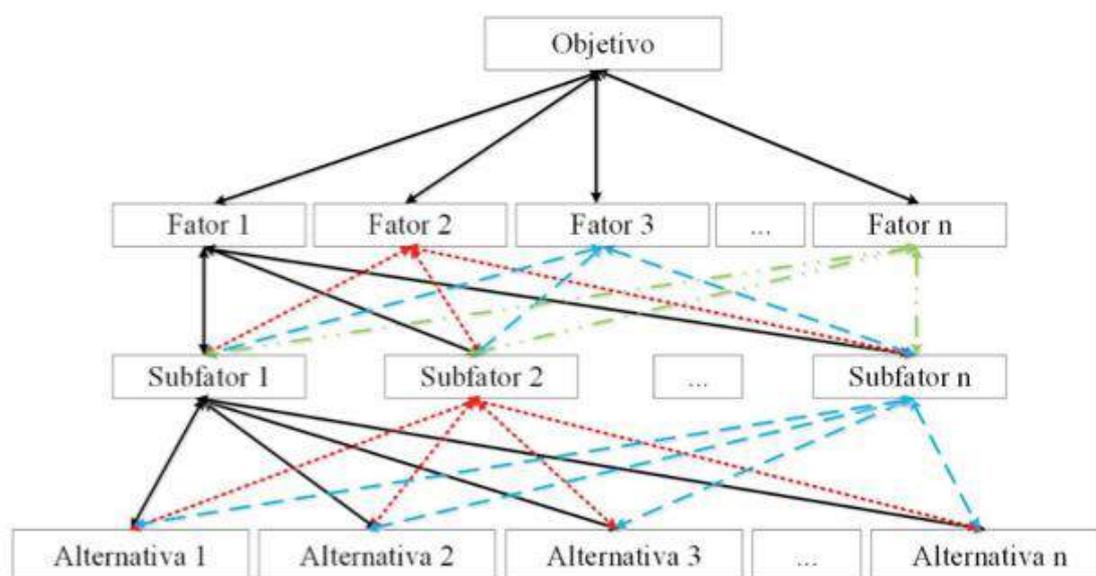
### 3.11. Processo Analítico Hierárquico (AHP)

O método conhecido como AHP foi desenvolvido por Thomas Saaty no início dos anos 70, sendo aperfeiçoado ao longo de suas aplicações. Este método é uma importante ferramenta para o auxílio à tomada de decisão, pois consegue envolver em sua modelagem aspectos tanto quantitativos como qualitativos (Saaty, 1991; Vaidya e Kumar, 2006). O AHP trabalha a partir de comparações paritárias, onde os diferentes aspectos são confrontados entre si, resultando em uma priorização dos mesmos. Para isto, faz-se necessário a hierarquização dos critérios para tornar possível a comparação da influência de cada um no resultado final.

De acordo com Saaty (1991), a vantagem da utilização de uma estrutura hierárquica paira sobre a possibilidade do entendimento dos níveis mais altos a partir das interações dos diversos níveis da hierarquia. Além disso, esta estrutura pode ser considerada estável, pois pequenas modificações não surtem efeito grande na hierarquia, e flexível, pois quando bem estruturada a hierarquia não é perturbada por possíveis adições.

Na Figura 3.6 é apresentada a estrutura hierárquica do AHP.

Figura3.6 - Estrutura Hierárquica Básica do AHP



Fonte: Adaptado de Saaty (2008).

Segundo Saaty (1980), a avaliação de cada um dos elementos da estrutura hierárquica passa ser possível devido à transformação das comparações empíricas em valores numéricos que são processados e comparados, porém se destaca que a capacidade de conversão de dados práticos em valores numéricos pode ser apontada como o principal destaque do AHP em comparação com outras técnicas. Embora o modelo AHP aplique a subjetividade no processo hierárquico na escolha de critérios de avaliação (variáveis) e auxilie a ponderação destes critérios de forma global, não há perda de precisão na tomada de decisão, pois o processo de escolha se dá por divisão em níveis hierárquicos, facilitando, assim, sua compreensão e avaliação e garantindo a robustez do modelo. A decisão de cada membro do grupo deve ser

integrada uma por vez, de maneira matemática, podendo ser levados em consideração a experiência, o conhecimento e o poder de cada pessoa dentro do grupo, sem que seja necessário um consenso ou a decisão da maioria. No Quadro 3.1 é apresentado a escala fundamental de Saaty que colabora significativamente a escolhas das ponderações de critérios ou variáveis de decisão.

Quadro 3.1 - Escala Fundamental de Saaty.

1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra, sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza
2,4,6,8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Fonte: Saaty (2008).

Segundo Saaty (2008), os elementos fundamentais do método AHP são:

- Atributos e Critérios: um conjunto de alternativas é comparado em relação a um conjunto de critérios (variáveis);
- Correlação Binária: quando dois elementos são comparados baseados em um critério, realizasse uma comparação binária, na qual um elemento é preferível ou indiferente ao outro;
- Escala Fundamental: a cada elemento associa-se um valor de prioridade sobre outros elementos em uma escala numérica;
- Hierarquia: conjunto de elementos ordenados por ordem de preferência e homogêneos em seus respectivos níveis hierárquicos.

A abordagem de Shaw *et al.* (2012), focou em utilizar o AHP como uma ferramenta para otimizar o processo sustentabilidade ambiental de uma cadeia de fornecimento em relação a reduzir a emissão de carbono. Os fatores considerados no estudo foram o custo, a porcentagem de rejeição qualidade, porcentagem atraso na entrega, a emissão de gases de efeito e a demanda. Os critérios de avaliação para a

escolha de pesos múltiplos foram desenvolvidos com programação linear multiobjectivo *fuzzy*, bem como para seleção de fornecedores e atribuição de quotas de eficiência. Destaca-se neste trabalho que todas as funções objetivos possuem pesos diferentes, estes podem ser alterados pelo gestor sem causar complicações aos resultados. Isso é devido a lógica aplicada ao modelo AHP que é usado pela primeira vez para calcular os pesos dos critérios e, em seguida, através da programação linear *fuzzy* descobrir a melhor solução do problema, desta forma imprecisões podem ser tratadas eficazmente neste modelo.

### 3.12. Matriz de Avaliação

Segundo Jardim (2003), a partir de uma Matriz de Avaliação, onde cada alternativa de solução possui uma medida (valor), por meio da análise multicritério, em modelos matemáticos, é possível produzir uma classificação geral das alternativas de solução em função da sua eficiência. Através da normalização, reduz-se o intervalo formado pela série de medidas  $D$ , uma para cada alternativa, ou classe de alternativas, à escala decimal de 0 a 1. Com este esquema Jardim (2003) afirma que para cada alternativa de solução disponível no ambiente decisório, essa sistemática fornece uma cota de participação. A soma de todas essas cotas deverá ser sempre igual à unidade. Admitindo-se a existência de um confiável e atualizado cadastro de informações das alternativas de solução, a Matriz de Avaliação constitui o ponto de partida para a aplicação dos modelos matemáticos de análise multicriterial. Ilustra-se e caracteriza-se a Matriz de Avaliação no Quadro 3.2:

Quadro 3.2 – Matriz de Avaliação das Alternativas de Solução.

Variáveis ou Critérios de Avaliação	Pesos	Alternativas de Solução		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>n</sub>
X <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> (X <sub>1</sub> )	A <sub>2</sub> (X <sub>1</sub> )	A <sub>n</sub> (X <sub>1</sub> )
X <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> (X <sub>2</sub> )	A <sub>2</sub> (X <sub>2</sub> )	A <sub>n</sub> (X <sub>2</sub> )
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
X <sub>k</sub>	P <sub>k</sub>	A <sub>1</sub> (X <sub>k</sub> )	.....	A <sub>k</sub> (X <sub>k</sub> )

Fonte: Adaptada de Jardim (2003).

A pesquisa de Pourghasemi *et al.* (2012), combinou o método AHP com a lógica *Fuzzy*. O estudo produziu mapas de deslizamento de terra de susceptibilidade

propensa a uma área de deslizamento de terra em Haraz (Irã), usando ambos os modelos processo de hierarquia analítica. Os resultados da pesquisa mostraram que o modelo de lógica *fuzzy* obteve (89,7%) contra (81,1%) do modelo AHP, ou seja, a lógica *fuzzy* teve desempenho melhor para este estudo.

### 3.13. Método da Programação de Compromisso

Segundo Zeleny (1982), o Método da Programação de Compromisso caracteriza-se por ser um processo iterativo, geralmente com o estabelecimento progressivo das preferências por parte do decisor até que seja atingida uma solução satisfatória. Há situações em que os pesos dos critérios de avaliação decorrem da estrutura do problema. O método classifica as alternativas não dominadas através de um conceito geométrico do melhor em comparação aos outros participantes, por meio de uma medida de distância até a solução ideal. Dada a matriz de avaliação das alternativas de solução do problema, segundo os critérios estabelecidos, a solução ideal pode ser definida como o vetor  $Z_i^* = (Z_1^*, Z_2^*, \dots, Z_3^*)$ , as quais as funções  $Z_i^*$  são as soluções do problema.

Por exemplo:

$$\text{Máx } Z_i(x),$$

Sujeito a:  $x \in X$  e  $i = 1, 2, \dots, p$

onde:

$x$  é o vetor de decisões;  $p$  o número de critérios;  $X$  o conjunto das soluções viáveis e  $Z_i(x)$  a função-objetivo para o critério  $i$ .

A solução ideal é, geralmente, inatingível, por pressupor a solução ótima para todos os objetivos através de uma alternativa, e serve como padrão de referência no processo de classificação das soluções não-dominadas. Essa classificação é obtida pela determinação da proximidade de cada alternativa não-dominada com relação à solução ideal. Uma das medidas de proximidade mais usada é apresentada na Equação 3.9:

$$L_i = \left\{ \sum_{i=1}^p \alpha_i^s [Z_i^* - Z_i(x)]^s \right\}^{\frac{1}{s}} \quad (3.9)$$

onde:

$1 \leq s \leq \infty$  e  $i$ , índices dos pesos dos critérios, fixados subjetivamente pelos decisores, ou derivados da estrutura de preferências decorrentes do problema.

A solução de compromisso  $x_s$  para um dado  $s$  é:

$$\text{Min } L_s(x) = L_s(x^*) \quad (3.10)$$

Sujeito a:  $x \in X$ . O termo  $[Z_i^* - Z_i(x)]$  é uma medida de desvio da solução ideal.

A determinação do conjunto das soluções de compromisso é obtida resolvendo a Equação 3.10 para valores  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p$  e para  $1 \leq s \leq \infty$ . Operacionalmente são calculados três pontos do conjunto das soluções de compromisso, correspondentes a  $s = 1, 2$  e  $\infty$ . A solução de melhor compromisso é caracterizada pelo vetor dos melhores valores alcançados em cada critério da matriz de avaliação, conforme demonstra a Equação 3.11:

$$L_s = (X_s^*) = \min L_s(X_s) = \min \left\{ \sum_{i=1}^p \alpha_i^s \left[ \frac{Z_i^* - Z_i(x)}{Z_i^* - Z_i^{**}} \right]^s \right\}^{1/s} \quad (3.11)$$

Da mesma forma, a pior solução será considerada aquela dada pelo vetor dos piores valores da matriz de avaliação. Finalmente, com estes valores e os parâmetros  $s$  e  $\alpha$ , calcula-se a distância de cada alternativa até a solução ideal. A alternativa que apresentar a menor distância é a solução de melhor compromisso.

Como já foi referido, a Programação de Compromisso é um método iterativo, logo o cálculo é finalizado quando os decisores se derem por satisfeitos. Caso contrário, variam-se os pesos dos critérios e os parâmetros, por via de consequência as soluções ideais, processando-se novamente o algoritmo, até que seja encontrada uma solução satisfatória para os decisores (Zeleny, 1973).

Jardim (2003), afirma que:

O fundamento do método de classificação[...]é a técnica consagrada de análise multicritério com a técnica de Programação de Compromisso, descrita em Zeleny (1973), que é baseada em uma noção geométrica do melhor, mediante o uso de uma medida de proximidade a uma solução ideal, que é definida como o vetor  $F = (F_1, F_2, \dots, F_k)$ , onde as  $F_i$  são as soluções do problema  $\text{Max } F_i(x)$ , para  $x \geq 0$  e pertencente ao conjunto dos números reais, sendo  $x$  o vetor das  $k$  variáveis controladas de decisão, os critérios de avaliação (JARDIM, 2003 p.205).

Desta forma, a programação de compromisso tornou possível a modelagem computacional em sistemas que podem retornar informações de classificação e reclassificação em problemas complexos onde haja grande volume de informações ou situações complexas e conflitantes, levando em conta variáveis qualitativas ou quantitativas arbitradas para tomada de decisão.

A Equação 3.12 consiste na equação da programação de compromisso adaptada de Zeleny (1980) para o modelo de Jardim (2003):

$$D_{j=1}^n = \left\{ \sum_{i=1}^k P_i^2 \left[ \frac{(Z_{i^*} - Z_i(x))}{(Z_{i^*} - Z_{i^{**}})} \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (3.12)$$

onde:

$D_{j=1}^n$  Distância (noção geométrica do melhor). Busca-se a minimização;

$Z_{i^*}$  = a melhor medida de cada variável (pode ser o maior ou o menor valor);

$Z_{i^{**}}$  = a pior medida de cada variável (pode ser o menor ou o maior valor);

$P_i$  = o peso relativo de cada variável (critério de avaliação);

$k$  = número de variáveis;

$x$  = variáveis de decisão controladas;

$n$  = número de alternativas de solução.

Carpinelli *et al.* (2014) apresentou um importante estudo sobre a cadeia de distribuição utilizando veículos elétricos, visando reduzir emissões de gases, bem como custos de transporte.

Li *et al.* (2013) apresentaram um estudo voltado a problemas de roteamento de rede de distribuição, que geralmente envolvem múltiplos objetivos que podem entrar em conflito entre si. Foi utilizado o método de programação de compromisso para identificação do Pareto ótimo relacionado à melhor rota de transporte de mercadorias perigosas na rede de estradas de Hong Kong com o apoio do sistema de informação geográfica.

Fattahi e Fayyaz (2010) utilizaram o método de programação de compromisso em gestão integrada de águas urbanas. Muitos objetivos e critérios tais como a satisfação dos consumidores urbanos de água, os benefícios nacionais e riscos sociais são considerados na gestão da água urbana integrada. O estudo envolveu três principais objetivos consagrados na gestão integrada de águas urbanas como: custo da distribuição da água, desperdício por fuga d'água e nível de satisfação dos consumidores em relação aos serviços prestados na rede de água potável na cidade de Hamedan - Irã. Os resultados mostram que o modelo é capaz de apresentar soluções eficazes para o problema proposto. Assim, o modelo matemático pode ser utilizado como uma ferramenta eficiente para a gestão integrada das águas urbanas em cada área urbana da região da cidade.

Dogra *et al.* (2014) desenvolveram um modelo baseado programação compromisso para maximizar a produção de alimentos com a alocação mínima de água disponível em escala de bacias hidrográficas, além de mapear posteriormente as necessidades ambientais humana, dos animais e exemplificar os diferentes cenários. O estudo de caso foi desenvolvido na região do Himalaia indiano, onde, apesar de abundante disponibilidade de água, a agricultura depende exclusivamente das águas da chuva, maiorias dos agricultores dependem da agricultura para sua autossuficiência na produção de alimentos. Os resultados demonstraram a aplicabilidade do modelo desenvolvido, com a obtenção de uma percentagem elevada (> 93%) dos valores ideais aplicados às funções objetivo, que foram de 155-170% da produção de alimentos existentes, 71 a 85% de utilização de água existente entre os cenários

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para atender aos objetivos propostos o método adotado foi o de estudo de caso, devido ao enfoque organizacional e ao componente humano, item importante da pesquisa por se tratar de mudanças de paradigma, aprendizado e sinergia nos processos de extração de óleos essenciais por arraste a vapor no agronegócio.

Segundo Yin (2001), em geral, os estudos de caso representam a estratégia preferida quando se colocam questões do tipo “como” e “por que”, quando o pesquisador tem pouco controle sobre os eventos e quando o foco se encontra em fenômenos contemporâneos inseridos em algum contexto da vida real.

A metodologia aplicada neste trabalho envolve 04 etapas com o objetivo de obter modelos matemáticos capazes de predizerem os custos associados ao processo de obtenção de óleo essencial de pimenta longa, assim como permitir calcular o valor do preço de venda do referido produto. Complementarmente será validada a metodologia com as espécies de citronela e capim-limão

- a. A primeira etapa consiste na base teórica para aplicação da técnica de PO. Esta etapa consiste em obter dados experimentais da produção de óleo essencial de pimenta longa em uma unidade piloto de destilação por arraste de vapor.
- b. Na segunda etapa serão analisados parâmetros econômicos financeiros, a partir das informações levantadas sobre os custos de produção, demanda do produto no mercado, valor estimado praticado no mercado, visando abastecer o modelo matemático desenvolvido pelo trabalho. Nesta etapa também será realizada a montagem das variáveis de decisão definidas as restrições de capacidade e de não negatividade para se chegar à função objetivo de maximização de lucro, bem como gerar os resultados visando à

formulação do preço de venda de óleo essencial de pimenta longa e do hidrolato.

- c. De posse do modelo desenvolvido, a terceira etapa consistirá no uso dos resultados dos trabalhos referentes ao estudo de viabilidade técnica e econômica de produção de óleos essenciais de citronela e capim-limão, desenvolvidos por Valle et al. (2014) e Reis et al. (2010), para validar o modelo de cálculo proposto neste trabalho.
- d. Finalmente, a quarta etapa visa utilizar-se do modelo validado para comparar os resultados do processo de produção de óleo essencial de pimenta longa, citronela e capim-limão entre si, através do software de Análise Multicriterial de Suporte a Decisão *EssentialWeb* desenvolvido neste estudo.

#### **4.1. Obtenção de Óleo Essencial de Pimenta Longa**

##### **4.1.1. Pimenta Longa (*Piper hispidinervum*)**

Segundo Pires e Alleman (2015), agricultura sustentável é aquela que respeita o meio ambiente, é justa do ponto de vista social e consegue ser economicamente viável, um desafio para os pequenos produtores rurais. O cultivo de espécies de pimentas tem se tornado uma nova alternativa para estes pequenos produtores como um incremento de renda para suas famílias, em especial, a pimenta longa (*Piper hispidinervum*), um arbusto endêmico do estado do Acre com alto rendimento em óleo essencial rico em safrol. O safrol é um componente químico aromático, utilizado pelas indústrias para fabricação de fixador de aroma, inseticidas e pesticidas. A demanda mundial pelo safrol se dá pela sua grande utilização farmacêutica e industrial. Desta forma, a Embrapa (Empresa Brasileira de Produtos Agropecuários) tem incentivado diversos produtores a introduzir mudas em diferentes locais do país com o intuito de tornar a cultura sustentável, e assim, fazê-la uma fonte de renda segura e alternativa. Vários estudos têm demonstrado boa adaptação da espécie de pimenta longa em outras regiões do país, nos Estados de Santa Catarina, Amazonas e Rio Grande do Sul e obtendo-se também, bons rendimentos em óleo essencial, tornando-se uma ótima alternativa para o cultivo da planta pelos pequenos produtores rurais.

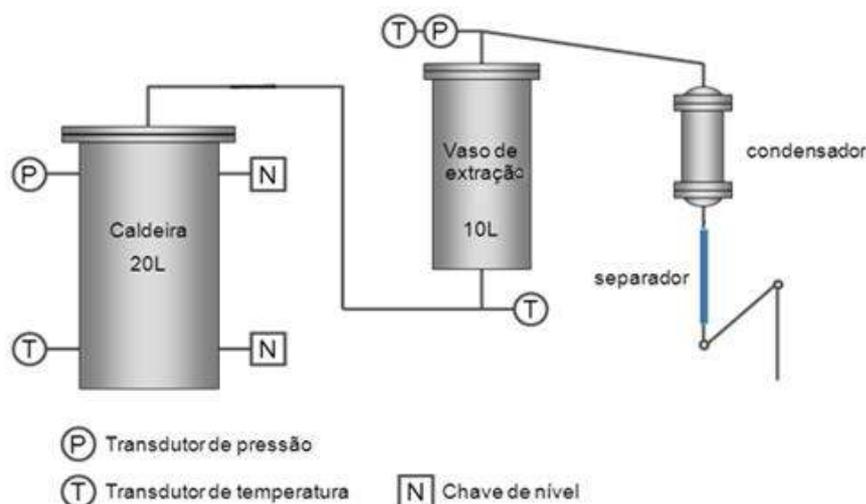
#### 4.1.2. Material vegetal

O material vegetal utilizado nos experimentos foi coletado no Centro de Agricultura da EMATER – Porto Alegre (latitude 30°07'S; longitude 50°10'O; altitude 100 m). A matéria-prima consiste das partes aéreas secas de pimenta longa (*Piper hispidinervum*) composta de folhas e ramificações.

#### 4.1.3. Arraste a vapor

O óleo essencial de pimenta longa foi obtido através da extração por arraste a vapor no equipamento em escala piloto instalado no Laboratório de Operações Unitárias (LOPE) da Faculdade de Engenharia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. A unidade piloto foi projetada para operar até 3,5 bar (pressão absoluta). A geração de vapor é feita por uma caldeira elétrica de 1 Kw.h com capacidade de 20 L e a condensação da mistura vapor-óleo essencial ocorre em um trocador de calor multitubular tipo casco-tubo. Todo processo é monitorado e controlado pelo operador do equipamento que acessa uma interface por intermédio de um software de controle que apresenta gráficos de tendência e displays de variáveis, como temperatura em diversos pontos do processo, vazão, pressão e volume de óleo. O fluxograma do equipamento de extração por arraste a vapor é apresentado na Figura 4.1.

Figura 4.1 - Fluxograma do equipamento de destilação por arraste a vapor em escala piloto.



Fonte: O autor (2016).

Estes dados são armazenados em banco de dados que é também compartilhado com o software de gerenciamento das bateladas. O software de gerenciamento permite a visualização e análise dos dados de processo das extrações, como tempo de extração, porosidade do leito, quantidade de vapor empregada e rendimento de óleo essencial.

As partes aéreas de *Piper hispidinervum* foram colocadas no interior da câmara de extração, constituindo um leito fixo de extração através do qual o vapor passa, promovendo a extração dos compostos voláteis presentes nas partes aéreas da pimenta longa. As extrações foram realizadas em triplicata. A massa de planta utilizada para extração dos extratos voláteis de pimenta longa foi de 1.200 g.

O processo extrativo é dividido em duas etapas: a primeira etapa tem por objetivo gerar vapor saturado na pressão previamente definida e aquecer o sistema, enquanto a segunda etapa consiste da extração propriamente dita, onde são determinadas as curvas de extração, volume do óleo *versus* tempo. A etapa de extração é encerrada quando a variação de volume de óleo essencial no separador não é observada mediante três medições consecutivas. Os dados em volumes foram transformados em massa por meio da determinação experimental de massa específica (Equação 4.1).

$$m = \rho \cdot v \quad (4.1)$$

onde:

m – massa de óleo essencial.

$\rho$  – densidade de óleo essencial.

v – volume de óleo essencial.

O processo de extração de óleo essencial de pimenta longa apresentou as seguintes configurações operacionais:

- Tempo de aquecimento pré-operacional de saída de vapor: 100°C;
- Potência da Caldeira: 1Kw.h;
- Tempo total de extração: 75min;

- Vazão de vapor gerado no processo: 1,4 (mL/min);
- Vazão de água de refrigeração: 6,0 (L/min);
- Temperatura de entrada de água no condensador: 20°C;
- Massa da planta utilizada: 1,2 kg;

#### 4.1.4. Capacidade Produtiva

Conforme os resultados obtidos no processo de extrações efetuado no Laboratório de Operações Unitárias (LOPE), a capacidade produtiva obtida em triplicada foi de 13,33 mL para cada período de 75 minutos de extração com o rendimento de 1,39%, densidade de 1,25 g/mL e massa de planta de 1,2kg. Foram estimadas 8 horas diárias ou 480 minutos divididos em 6 ciclos de extrações que resultou em 79,98 mL/dia, o regime mensal de trabalho é de 22 d/m, o que fechou uma produção estimada de 1,76 Litros mensais. Abaixo está representado o cálculo da capacidade produtiva. A quantidade de massa verde seca total utilizada para tal extração foi de 158,40kg, ou seja, 158,40kg de planta para 1,76 Litros de óleo essencial de Pimenta Longa.

$$\text{Capacidade Produtiva} = 13,33\text{mL} \frac{1}{\text{CICLO}} \times 6 \frac{\text{CICLOS}}{\text{DIA}} \times 22 \frac{\text{DIA}}{\text{MÊS}} = 1,76 \frac{\text{L}}{\text{MÊS}}$$

#### 4.2. Estrutura da Metodologia Aplicada e Definição do Modelo Matemático.

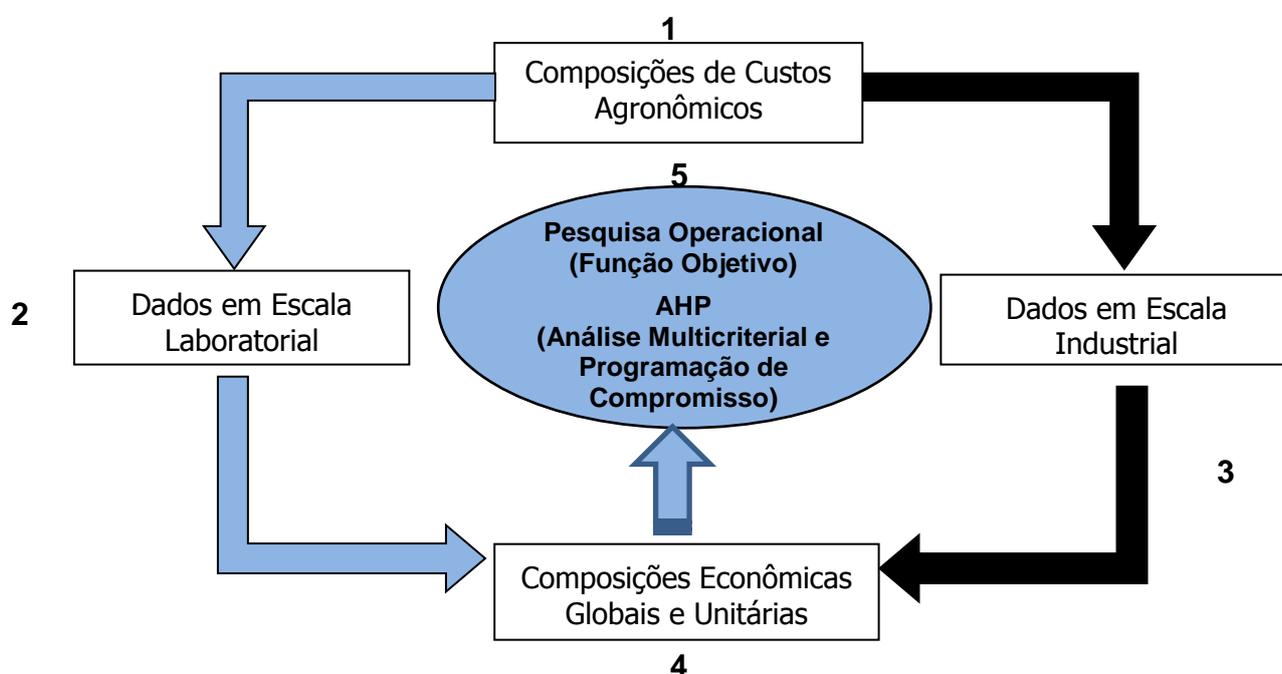
A estruturação do processo é de extrema importância para que os resultados possam retornar informações consistentes, por isso, o escopo da coleta dados necessita estar diretamente alinhado com ambiente de processo de produção, bem como definir quais serão os dados a serem tabulados no modelo.

Neste trabalho foram utilizados os métodos de Programação Linear e Multicritérios. A técnica de PO denominada Programação Linear é usada para determinar quais os principais indicativos econômicos financeiros que podemos manipular para se chegar à maximização do lucro e, conseqüentemente, formar um preço de venda otimizado do litro de óleo essencial. O software utilizado foi a Planilha Eletrônica MS-Excel (Aplicação Solver). No âmbito decisório utilizaram-se as técnicas de análise Multicriterial/Multiobjetivo, como o método *Analytical Hierarchy Process*

(AHP), associado à técnica de Programação de Compromisso (Zeleny, 1973; Jardim, 2003). Estes conceitos foram programados e geraram o Software EssencialWeb, que tem o objetivo de auxiliar a tomada de decisão no processo de produção, seja ele de cunho econômico ou de processos.

A Figura 4.2 apresenta a estrutura seguida para a elaboração do escopo analítico da pesquisa:

Figura 4.2 - Escopo Analítico da Pesquisa.



Fonte: O autor (2016).

O Escopo analítico da pesquisa tem o objetivo de direcionar corretamente a obtenção dos dados que serão necessários para calibragem do modelo matemático. Estes dados após processados geram informações que serão fundamentais para análise da cadeia de produção de óleos essenciais.

Na Figura 4.3 é apresentado o fluxograma demonstrando a ordem sequencial dos passos adotados para desenvolvimento do modelo:

Figura4.3- Escopo do Desenvolvimento do Modelo Matemático da Pesquisa.



Fonte: Adaptado de Oliszeski (2011).

#### 4.3. Caracterização da Produção e Processo de Extração de Óleo

Conforme pesquisa efetuada com o objetivo de esclarecer e facilitar o entendimento das variáveis escolhidas do processo de extração de óleo essencial, a seguir se elencam os fatores de custos vinculados à matéria-prima e à produção.

- **Custo direto:** custo claramente identificável e mensurável, empregado exclusivamente na produção de um determinado produto.
- **Custo indireto:** é o custo arbitrariamente imputado à exploração, por ser empregado em mais de um produto.
- **Custos de produção e manutenção:** gerenciamento da propriedade, custo das quantidades produzidas, custos dos fatores associados à manutenção da terra, trabalho humano e capital investido.
- **Custos adicionais agrônômicos e de processos:** identificado e mensurado em itens complementares ao processo de plantio, logística, mão de obra terceirizada e pesquisa e desenvolvimento.

#### 4.4. Definição de Parâmetros e Coleta de Dados

A definição de parâmetros é baseada nas métricas estabelecidas pelos estudos experimentais realizados na unidade piloto e no referencial teórico pesquisado. A definição das variáveis relacionadas aos parâmetros foi gerada com base no levantamento de dados pela matriz de produção de pimenta longa em escala piloto. Foram obtidas as características da forma de cultivo, dimensões de área, processos de podas, quantidades de matéria prima por planta e totais por hectare, estimativa de custos e receita dimensionada em uma unidade industrial. Os parâmetros para execução do trabalho levaram em consideração as seguintes atribuições:

- Tipos de plantas no experimento;
- Área mínima, máxima e total disponíveis para plantio;
- Mão de obra demandada;
- Aquisição de equipamentos;
- Rendimento e diferencial de umidade das extrações de óleo;
- Quantidade de horas de máquinas empregadas;
- Cálculo de insumos e serviços;
- Custo de produção/ha;
- Ciclo de produção de massa verde;
- Custos agronômicos diretos e indiretos ou complementares;
- Produtos comercializados (hidrolato e óleo essencial);
- Receitas e despesas totais.

#### 4.5. Descrição do Modelo

Preliminarmente, o modelo proposto tem a função de estabelecer o melhor procedimento de formação de custos em processos de obtenção de óleos essenciais por arraste a vapor, visando obter rentabilidades financeiras maximizadas, lucro e formação de preço.

- Variáveis de Decisão

Visando atender as premissas interativas e a necessidade do modelo, as variáveis de decisão são estabelecidas em relação aos custos de produção, custos diretos, custos indiretos e custos agronômicos complementares.

- Função Objetivo

A função objetivo tem foco nos processos relacionados a custos de produção, quantidades produzidas, receita e custos totais relativos à comercialização. Busca-se, a partir da modelagem da função objetivo, maximização dos lucros, calcular os custos de processo, bem como, a partir da análise dos custos gerados, otimizar a gestão do processo produtivo de extração de óleos essenciais.

A maximização do lucro contempla todos os processos de produção e extração de óleos essenciais, ou seja, todos os custos e despesas necessárias para completar ou complementar o ciclo completo de produção, aquisição, extração e consolidação do produto final.

Os dados fornecidos são inseridos nas planilhas operacionais. O custo total, relativo aos custos de produção e extração, mão de obra, serão analisados para cada produto produzido, bem como a demanda contratada e um preço estimado. Estas estruturações de dados são fundamentais para a construção da função objetivo com fins de maximização de lucro (Equações 4.2 e 4.3).

$$\text{LUCRO} = \text{RECEITA} - \text{CUSTOS} \quad (4.2)$$

$$\text{LUCRO} = R_c - \text{CUSTOS}(C_v + C_f + C_{agc}) \quad (4.3)$$

onde:

$R_c$ : é a receita da comercialização das unidades produzidas;

CUSTOS: é o somatório dos custos envolvidos na produção:

- $C_v$ : custos variáveis;
- $C_f$ : custos fixos;
- $C_{agc}$ : custos agronômicos complementares.

Assim, a função objetivo lucro é representada pela Equação 4.4:

$$\text{Função objetivo: Max } L = X_1 \cdot Q_{p1} + X_2 \cdot Q_{p2} + \dots + X_n \cdot Q_{pn} - \text{CUSTOS} \quad (4.4)$$

onde:

$X_1$  = é o preço estimado do produto 1;

$Q_{p1}$  = são as quantidades produzidas do produto 1;

$X_2$  = é o preço estimado do produto 2;

$Q_{p2}$  = são as quantidades produzidas do produto 2;

**CUSTOS** = São o somatório dos custos variáveis, custos fixos e custos agronômicos complementares.

Variáveis de decisão:  $X_1$  e  $X_2$

$$\text{Restrições} \left\{ \begin{array}{l} \text{Técnicas} \left\{ \begin{array}{l} X_1 \cdot Q_{p1} + X_2 \cdot Q_{p2} \leq CP \text{ (Ano, Mês, horas)} \\ P_1 \leq Q_{p1} \\ P_2 \leq Q_{p2} \end{array} \right. \\ \text{de não negatividade} \left\{ \begin{array}{l} X_1 \geq 0 \\ X_2 \geq 0 \end{array} \right. \end{array} \right.$$

- **Formulação do Modelo**

O modelo foi formulado de modo a gerar dados necessários para a geração de informações econômicas financeiras para a maximização de lucro e formação de preço de venda. A construção e configuração do modelo seguem a seguinte orientação; dado uma determinada quantidade de massa verde e/ou óleo essencial, obter os custos fixos, custos variáveis, determinar as quantidades a serem produzidas, a demanda de mercado, as horas de trabalho destinadas à produção e o preço inicial

de modo a otimizar as funções objetivos do problema que também, satisfaçam as restrições técnicas operacionais e de não negatividade, definidas pelos recursos disponíveis de produção.

Os recursos que englobam efetivamente o processo de produção de óleos essenciais neste trabalho foram submetidos às restrições de produção de cada espécie, ou seja, às características físico-químicas de extração. Os resultados obtidos das espécies de plantas como volume de extração de óleo essencial (quantidades), seu ciclo completo de produção, dados integralizados de custos agrônomicos complementares e preço (preço médio de venda) são de suma importância para a aplicação deste modelo. O Quadro 4.1 apresenta o modelo de obtenção de dados que abastecem a função objetivo deste estudo:

Quadro 4.1 – Modelo de dados para função objetivo.

<b>Recursos – Restrições</b>							
Espécies de Plantas ou Matéria-Prima	CF	CV	CAgc	Demanda de Produção Ano	Quantidades Produzidas Ano	Horas de Produção ano	Preço de Venda

Fonte: O autor (2016)

A descrição dos recursos (Quadro 4.1) necessários para a estruturação do modelo é estabelecida abaixo:

- Espécie de plantas ou matéria-prima: tipo de planta para o processo de produção de óleos essenciais.
- CF: custo fixo: custos fixos totais para a produção e extração de óleo essencial de determinada matéria prima.
- CV: custos variáveis totais que compõem o processo de produção de óleos essenciais.
- CAgc: custos agrônomicos complementares que podem ser acrescentados ao processo de produção de óleos essenciais.
- Demanda de produção ano: demanda de mercado ou demanda da planta industrial anual (capacidade máxima ou mínima de produção);

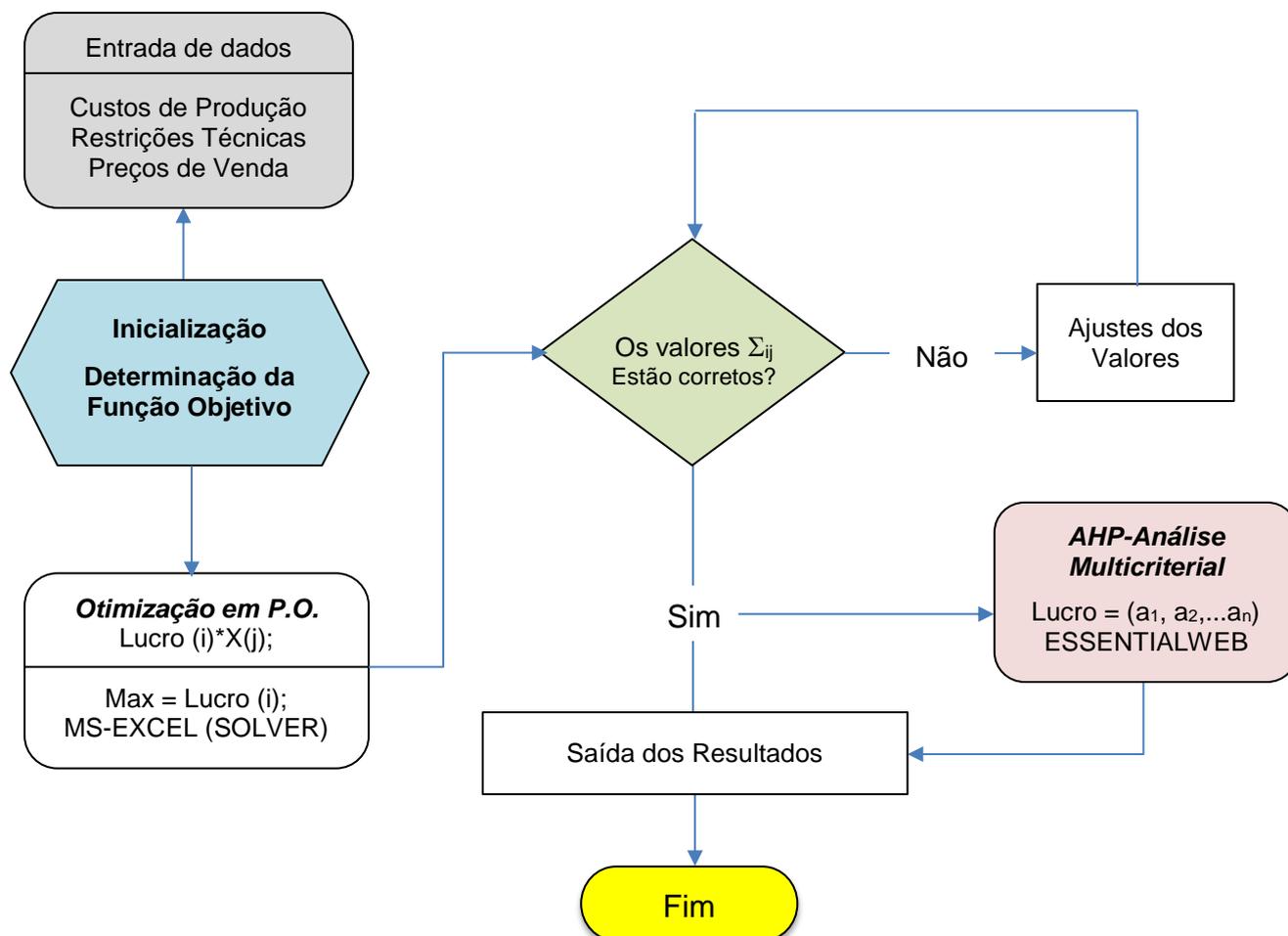
- Quantidades produzidas ano: total de quantidades produzidas de cada produto anualmente;
- Horas de produção anual: total de horas de trabalho contabilizados dia/hora/homem para o trabalho integral do processo agroindustrial e/ou na produção (extração) de óleos essenciais.
- Preço de venda: valor médio ou preço médio de venda praticado no mercado e/ou preço baseado na adição de margens de contribuição em função dos custos.

A seguir apresenta-se a indexação das fases de operação que foram base para construção do modelo. Após a definição dos itens envolvidos para a formulação do modelo foram selecionadas três espécies de plantas aromáticas que participam do estudo comparativo (capim-limão, citronela e pimenta longa) para a validação do modelo matemático econômico financeiro. Paralelamente foram efetuadas análises de sensibilidade relativas aos critérios de investimentos para comparar os resultados obtidos pelo modelo com os obtidos pelos estudos de viabilidade técnica econômica de Valle et al. (2014) e Reis et al. (2010).

A opção pela escolha destas espécies de plantas foi motivada pela facilidade na obtenção de informações na literatura científica, bem como no fornecimento de matéria-prima para desenvolver os experimentos em planta laboratorial específica para o estudo. Os ciclos de extrações foram no total de 03 que produziram dados suficientes para realizar estudos preliminares na formação desta metodologia e construção do modelo matemático em estudo. Cada espécie de planta possui dados de sua cadeia de produção que serão processados visando sua otimização e conseqüentemente a busca pela maximização do lucro. Estes mesmo dados após seu processamento inicial, geram informações importantes para a realização da análise de eficiência e classificação da melhor espécie neste processo. É fundamental obter dados consistentes para a realização das simulações, pois qualquer dado incorreto ou distorcido poderá resultar em informações equivocadas causando logicamente retrabalho e desperdício de tempo.

Na Figura 4.4 é apresentado o fluxo seguido das composições, decisões e elaboração do processo.

Figura 4.4- Escopo do Desenvolvimento do Modelo Matemático da Pesquisa.



Fonte: O autor (2016).

#### 4.6. Sistema EssentialWeb

O Sistema EssentialWeb é um modelo flexível e adaptável de análise multicriterial, destinado ao apoio à decisão em contextos decisórios complexos, quando há diversos concorrentes com objetivos e interesses conflitantes, e na presença de vários critérios de avaliação.

Análise multiparamétrica do Sistema EssentialWeb tem o objetivo de auxiliar os produtores e gestores relativos a extração de óleos essenciais no adequado dimensionamento dos parâmetros econômicos financeiros e de processos de produção de óleos essenciais, obtendo informações a partir da planta de produção ou

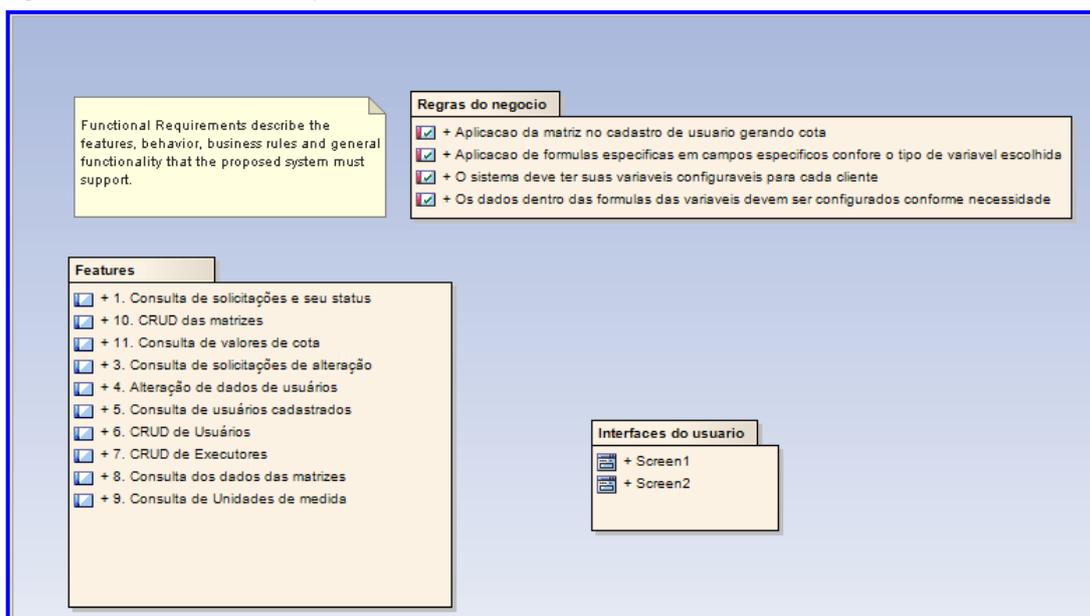
extração, adequando e dimensionando os parâmetros referentes a cada espécie de plantas envolvida do processo de obtenção de óleos essenciais.

O desenvolvimento de um sistema de suporte a decisão possibilita, quando bem aplicado e calibrado à realidade de determinado nicho de mercado, não somente o controle de processos de produção, mas também, a possibilidade geração de recursos econômicos tanto na minimização de custos, como no incremento de receita visando a austeridade e sustentabilidade de determinado mercado em questão.

#### 4.6.1. Análise dos Requisitos

O sistema precisava prover as espécies de plantas cadastrados de uma planta de produção, o acesso aos seus dados referentes a cotas de eficiência, e para os produtores e gestores de produção de óleos essenciais o gerenciamento desses dados relativos as espécies de plantas, bem como dos valores econômicos e de processo obtidos para o ambiente do sistema através de uma interface de intervenção. Para tanto, ficaria necessário para o sistema classificar as espécies de plantas de acordo com a eficiência de produção, determinar o peso de cada variável, após atribuir as espécies uma cota de eficiência e determinar a ela distribuição financeira ou avaliação de custos proporcional ao seu desempenho. A Figura 4.5 resume esta fase.

Figura 4.5- Análise de Requisitos do Sistema EssentialWeb.



Fonte: O autor (2016).

O sistema teria o uso voltado para esse controle de cotas com suporte a indução do uso racional de processos de produção e tomada de decisão de investimentos, proporcionado a verificação constante desses dados e os custos de rateio justo e proporcional entre todos as espécies de plantas envolvidas.

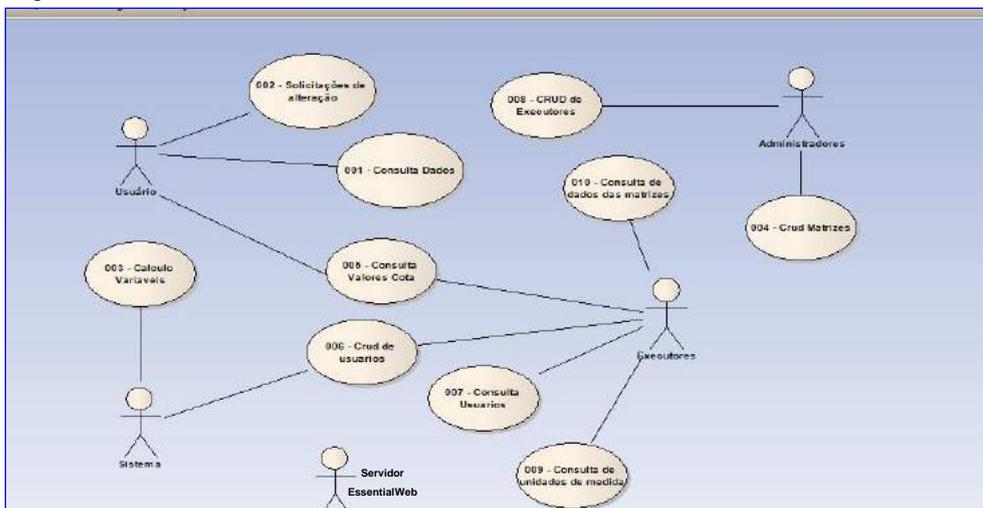
#### 4.6.2. Modelagem do Sistema

O estudo deste sistema pode dar-se sob diferentes formas de abordagem. Porém, para os modelos matemáticos, existe a necessidade de implementação em uma linguagem de programação. Para tanto, foi utilizado linguagem PHP/Java fazendo uso também de paradigmas de implementação, e frameworks de desenvolvimento. Não abordaremos, desse modo o código em si, e sim a implementação geral, as características básicas do sistema, os métodos escolhidos para implementá-lo, seus meios de acesso e funcionalidades.

#### 4.6.3. UML

Para uma garantia de integridade de dados e documentação foi utilizado no desenvolvimento alguns diagramas baseados em UML (do inglês: Unified Modeling Language), esse uso propicia maior garantia de sucesso na modelagem do sistema, tendo em vista um sistema que poderá se tornar complexo numa perspectiva diferente do trabalho futura.

Figura 4.6 - Casos de Uso do Sistema EssentialWeb



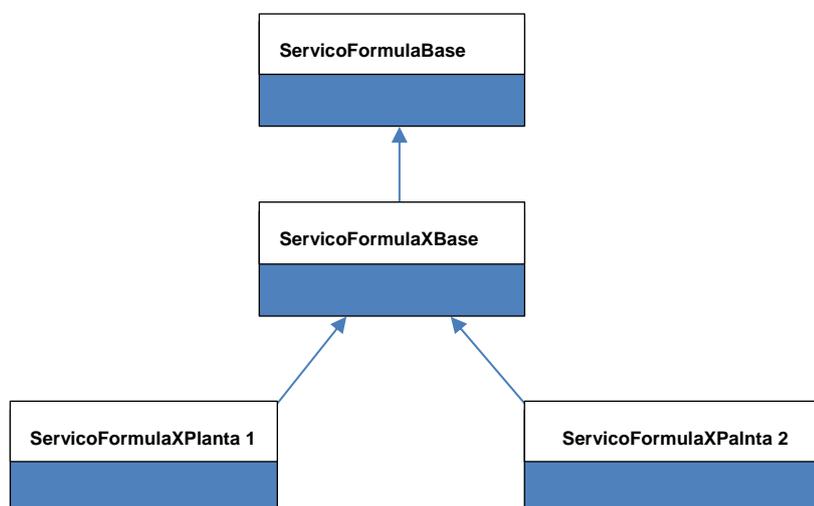
Fonte: O autor (2016).

A Figura 4.6 demonstra em alto nível os privilégios e possíveis ações de cada participante do sistema. Podemos verificar que o Usuário pode fazer solicitações de alterações na sua base de dados própria, e consulta de sua cota e demais dados referentes, porém, ele não tem acesso à consulta das matrizes ou inserção de variáveis funcionais, isso permite que os executores tenham segurança na geração de cotas e confiabilidade nos resultados. O sistema em si, fornece o cálculo das cotas, aplicando a fórmula e mantendo uma interface com os usuários, executores e administradores. Todo o sistema foi baseado na hierarquia proposta pela fórmula da solução, sendo que cada ator tem sua função muito bem definida para que a segurança nos resultados seja garantida.

#### 4.6.4. Arquitetura das Fórmulas

O sistema trabalha com o conceito de variáveis, estas variáveis vão ser respectivamente campos da tabela de usuário e fazem parte de uma matriz de avaliação (ver Quadro 3.2, Sub. Capítulo 3.12), estas variáveis têm uma fórmula específica para popular seus campos e além da fórmula, ainda vão existir valores fixos (pesos), que irão compor esta fórmula, assim teremos uma ou mais matrizes cada uma com inúmeras variáveis, cada qual tem uma fórmula que incide nesta variável. Cada planta de produção pode escolher quantas matrizes forem necessárias e cada matriz pode conter inúmeras variáveis que irão se repetir.

Figura 4.7 - Arquitetura das Fórmulas – Sistema EssencialWeb.



Fonte: O autor (2016).

A Figura 4.7, exemplifica o conceito de “ServicoFormula” cada uma das fórmulas serão uma classe especifica dentro do sistema, ou seja, a variável Producao\_Anual vai ter um “ServicoFormulaProduçãoAnual” e cada Planta de produção de óleo essencial terá sua própria fórmula.

ServicoFormulaBase – Classe básica que todos Serviços irão herdar.

ServicoFormulaXBase – O X deve ser substituído pelo nome correto da variável (Producao\_Anual, Quant\_MassaVerde, etc...) esta classe vai ser a classe básica para aquele tipo de ServicoFormula da variável específica, ou seja, cada variável ainda vai ter um serviço base.

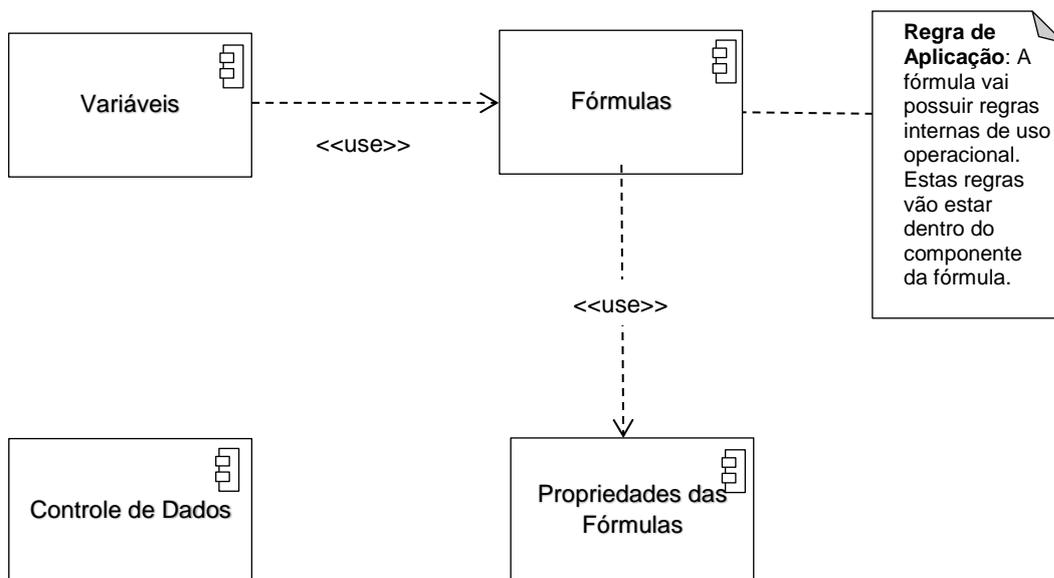
ServicoFormulaXPlanta 1 (PimentaLonga) e ServicoFormulaXPlanta 2 (Citronela) – é a implementação final da classe, onde dentro de cada uma delas vamos ter a fórmula e as variáveis já com seus valores inseridos, aqueles valores que são usados nas fórmulas de cada unidade produtora de óleo essencial.

#### 4.6.5. Componentes das Fórmulas

Para elaborar as fórmulas de cálculo da geração das cotas foram utilizados os métodos citados anteriormente nos subcapítulos 3.10; 3.11; 3.12 e 3.13, logo após transportados para um modelo computacional e sua aplicação particular voltada para o mercado de óleos essenciais objeto desta pesquisa. Visando definir regras consistentes e robustas de cálculos, adotamos uma modelagem que permita garantir o acesso facilitado aos dados do sistema.

É de extrema importância fomentar que a escolha das variáveis deve ser diretamente proporcional ao ambiente em níveis operacionais, técnicos e de integração de sistemas, o qual as soluções e resultados do processo atenderão com maior eficácia e qualidade o sistema EssencialWeb. O algoritmo será executado respeitando a ordem desta modelagem (Figura 4.8).

Figura 4.8 – Desenho da Modelagem dos Componentes das Fórmulas – Sistema EssentialWeb.



Fonte: O autor (2016).

#### 4.6.6. Desenvolvimento, Configuração e Comercialização

Para desenvolver o sistema, foi utilizado a tecnologia PHP/Java voltada para utilização web. A configuração é em um ambiente baseado em ferramentas gratuitas e de código aberto visando uma aplicação de um menor custo de produção. A montagem do ambiente consistiu da instalação das ferramentas Java SE SDK, PHP, Eclipse como interface de desenvolvimento, Tomcat como servidor de aplicação, Oracle como sistema de gerenciamento do banco de dados, DBDesigner como ferramenta de modelagem do banco de dados. Por se tratar de um protótipo seu processo de desenvolvimento é constante podendo agregar mais funcionalidade e ferramentas computacionais ao modelo de uso acadêmico. Este sistema futuramente poderá ser comercializado na forma SaaS, visando baratear sua aquisição, pois não requer instalação de licenças bastando apenas ter um computador conectado à internet.

No modelo SaaS a comercialização é na forma de pagamento pela sua utilização, um aluguel de software, similar a tarifa de uso de água, energia elétrica e telefone fixo e/ou celular.

#### 4.6.7. Dicionário Funcional do Sistema EssentialWeb

Para um melhor entendimento dos papéis dos atores e/ou classes do sistema e linha funcional, abaixo está definido o conceito de cada item, suas funções operacionais e privilégios:

- Administradores – Mantenedores do sistema, programadores e gestores.
- CRUD – Vem do inglês Create, Retrieve, Update and Delete, usada para definir quatro operações básicas usadas em bancos de dados.
- Executores – Pessoal autorizado pelos comitês para manipular de forma administrativa o sistema.
- SaaS – vem do inglês Software as a service, é uma forma modalidade de prover uma aplicação de forma remota, por exemplo através da internet.
- Sistema – O algoritmo gerador de cotas implementado nessa forma.
- Struts – é framework de desenvolvimento da camada controladora do sistema.
- Framework - estrutura de trabalho (<http://www.essentialweb.com.br>)
- Use Case – Casos de uso
- UML – Vem do inglês Unified Modeling Language uma linguagem de modelagem que permite visualizar os produtos do trabalho.
- Usuário – Cliente do produto final que utilizara o sistema para consultas de valores de cotas e os direitos ou deveres gerados por estas, dados pessoais, e informações gerais dos comitês.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados resultados sobre o processo de extração de óleo essencial de pimenta longa (*Piper hispidinervum*). Inicialmente são apresentados os resultados obtidos em relação aos dados agronômicos relacionados à produção da massa verde (seca) de pimenta longa. Em seguida são apresentados os resultados experimentais relacionados à produção de óleo essencial de pimenta longa em uma unidade piloto, dados estes usados como base para o estudo econômico. Num terceiro momento são extrapolados os estudos, sendo dimensionados de escala piloto a uma escala industrial.

Como forma de analisar os resultados econômicos financeiros, em função de um volume importante de informações obtidas, utilizar-se-á a planilha eletrônica MS-Excel (Solver) para determinar a função objetivo (otimização e maximização do lucro) e formação de preço. Além da avaliação dos dados de pimenta longa serão comparados os resultados obtidos do processo de produção de óleos essenciais de citronela e capim-Limão. Os valores encontrados serão analisados e simulados com foco em tomada de decisão pelo software EssentialWeb com os métodos de Processo Analítico Hierárquico, Análise Multicriterial e Programação de Compromisso.

### 5.1. Dados Agronômicos da Pimenta Longa

Os dados agronômicos relativos à produção de pimenta longa foram obtidos junto à empresa PIRISA - Pirisa Piretro Industrial Ltda (Quadro 5.1).

Quadro 5.1 – Dados agrônômico da pimenta longa

Dados Agrônômicos	
Número de podas ano	2 podas/ano
Plantas por hectare	7.500 a 8.000/ha
Produção por Planta unitária	8kg/planta
Planta por hectare	9.000/ha
Custo de Manutenção a.a.	R\$ 5.000,00
Ciclo de vida da planta	15 anos
Área de plantio	200 ha
Mão de obra	5 pessoas
Maquinário	02 tratores
Produção de mudas em Estufa (6x15m)	15.000 mudas
Custo unitário das mudas	De R\$ 0,50 a R\$ 1,00
Produtos Comercializados	Hidrolato e Massa Verde

Fonte: O autor (2016).

## 5.2. Dados experimentais do processo extrativo para modelagem da função objetivo

Para a construção da função objetivo foram realizados experimentos de extração de óleo essencial de pimenta longa em uma unidade piloto de arraste a vapor (triplicata) e os resultados dos experimentos são apresentados a seguir.

- Volume total de óleo obtido: 13,33 mL;
- Densidade do óleo: 1,25 g/mL.
- Rendimento: 1,39%.

## 5.3. Capacidade produtiva estimada

No subcapítulo 5.2 verificou-se os resultados obtidos no processo de extrações com a capacidade produtiva de 13,33 mL para cada período de 75 minutos de extração e rendimento de 1,39% com a densidade de 1,25 g/mL. Para obter maior volume de óleo, extrapolamos os ciclos das extrações para uma realidade de mercado, visando obter melhores resultados. Admitimos uma unidade de produção industrial com capacidade de processamento de 240 kg massa verde por dia. Foi estimado um período de produção de 8 horas diárias divididas em 06 ciclos de extrações que resultaram em 20L/dia. O regime mensal de trabalho foi fixado em 22 d/m, o que fechou uma produção estimada de 440,352 L mensais de

óleo essencial de pimenta longa. Abaixo está representado o cálculo da capacidade produtiva.

$$CP = 1,39\% \times 240\text{kg} = 3,336\text{mL} \times 6 \frac{\text{CICLOS}}{\text{DIA}} \times 22 \frac{\text{DIA}}{\text{MÊS}} \times 1 \text{ Lotes Produção} = 440,352 \frac{\text{L}}{\text{MÊS}}$$

#### 5.4. Resultados Econômicos Financeiros

##### 5.4.1. Estimando Custos e Receitas

Os custos apresentados a seguir serão estimados com relação à unidade piloto extrapolando sua produção visando aproximar o máximo possível a uma situação real de produção. Os custos pré-operacionais são apresentados no Quadro 5.2.

Quadro 5.2 – Custos pré-operacionais.

Equipamentos	Custo unitário (R\$/u)	Unidades (u)	Custo total (R\$)
Destilador completo por arraste a vapor (menos caldeira) modelo D-200 Linax	36.000,00	1	36.000,00
Caldeira	25.000,00	1	25.000,00
<b>Total</b>			<b>61.000,00</b>

Fonte: O autor (2016).

Na determinação do capital de giro, conforme apresentado no Quadro 5.3, foi considerado que este seria o resultado da soma da mão de obra, do custo variável de produção e da logística de transporte mensais.

Quadro 5.3 – Capital de giro mensal.

Aplicação	R\$/mês
Mão de obra	416,67
Custo Variável de produção	5.549,28
Logística	1.000,00
<b>Total</b>	<b>6.965,95</b>
<b>Total (Ano 1)</b>	<b>83.591,40</b>

Fonte: O autor (2016).

Como custo fixo foram considerados os gastos com mão de obra e logística computados em um período de 1 ano, conforme Quadro 5.4.

Quadro 5.4 – Custo Fixo Geral.

Período	Mão de	Logística	Total
Ano 1	R\$ 5.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 17.00,00
Ano 2	R\$ 5.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 17.00,00
Ano 3	R\$ 5.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 17.00,00
Ano 4	R\$ 5.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 17.00,00
Ano 5	R\$ 5.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 17.00,00
Ano 6	R\$ 5.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 17.00,00
Ano 7	R\$ 5.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 17.00,00
Ano 8	R\$ 5.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 17.00,00
Ano 9	R\$ 5.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 17.00,00
Ano 10	R\$ 5.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 17.00,00

Fonte: O autor (2016).

O custo variável foi determinado considerando os principais insumos (embalagem e energia) e a matéria-prima (planta de pimenta longa), conforme apresentado no Quadro 5.5.

Quadro 5.5– Composição do Custo Variável Unitário.

Custo Variável Unitário	R\$	kg/L	R\$/L
Embalagem (1 L)	3,50	-	3,50
Frasco Pet (200ml)	1,06	-	1,06
Energia (1kW.h)	0,48	94h	45,12
Pimenta longa (1 kg)	0,15	90kg	13,50
TOTAL			63,06

Fonte: O autor (2016).

Abaixo apresenta-se no Quadro 5.6 a discriminação do custo variável unitário, mensal e anual e as quantidades de óleo produzido ao mês.

Quadro 5.6 – Custo Variável Anual.

Cvu (R\$/L)	63,06
Qp (L/m)	440,35
Cv mensal (R\$/m)	27.768,59
Cv anual (R\$/a)	333.223,16

Fonte: O autor (2016).

A depreciação considerada para os equipamentos será de 10%, ou seja, em 10 anos, embora sua depreciação completa possa ser estimada 15 anos. Assim como o investimento é feito considerando 10 anos de operação, haverá um valor residual equivalente no último ano de R\$ 20.333,33 (vinte mil e trezentos e trinta e três reais e trinta e três centavos) devido aos 5 anos que ainda restariam para a depreciação completa dos equipamentos, ou seja, será efetuado uma compensação de cálculo considerando os últimos 5 anos no valor de R\$ 4.066,66 (quatro mil, sessenta e seis reais e sessenta e seis centavos) compatível com a depreciação estimada dos equipamentos em 15 anos .

O Quadro 5.7 mostra a depreciação dos equipamentos.

Quadro 5.7 – Depreciação Anual.

<b>Período</b>	<b>Destilador</b>	<b>Caldeira</b>	<b>Total</b>
Ano 1	R\$ 3.600,00	2.500,00	R\$ 6.100,00
Ano 2	R\$ 3.600,00	2.500,00	R\$ 6.100,00
Ano 3	R\$ 3.600,00	2.500,00	R\$ 6.100,00
Ano 4	R\$ 3.600,00	2.500,00	R\$ 6.100,00
Ano 5	R\$ 3.600,00	2.500,00	R\$ 6.100,00
Ano 6	R\$ 3.600,00	2.500,00	R\$ 6.100,00
Ano 7	R\$ 3.600,00	2.500,00	R\$ 6.100,00
Ano 8	R\$ 3.600,00	2.500,00	R\$ 6.100,00
Ano 9	R\$ 3.600,00	2.500,00	R\$ 6.100,00
Ano 10	R\$ 3.600,00	2.500,00	R\$ 6.100,00

Fonte: O autor (2016).

#### 5.4.1.1. *Custos Agronômicos Complementares*

A rotina de produção de uma empresa está sempre sujeita a eventuais contingências, seja para atender uma demanda maior de produção, manutenção de máquinas, aquisição de equipamentos, contratação de pessoal ou até mesmo expansão da área de negócios. Estas contingências são chamadas de custos agronômicos complementares e sua composição são apresentadas no quadro 5.8:

Quadro 5.8 – Custos Agronômicos Complementares.

<b>Custo Agronômico Complementar</b>	<b>Valor (R\$)</b>
Manutenção	1.000,00
Provisão Demanda Mercado	3.000,00
Aquisição de Equipamentos e Pessoal	2.500,00
<b>Total Anual</b>	<b>78.000,00</b>

Fonte: O autor (2016).

Foi estimado o total de 40 horas semanais, 160 horas mês, num total de 1920 horas anuais de trabalho destinado à produção de óleo essencial de Pimenta longa e hidrolato um subproduto resultante do processo de destilação na extração do óleo essencial.

Segundo Pimentel (2001), engenheiro agrônomo da Embrapa-Acre, o consumo de óleo safrol em níveis mundiais é de mais de 3.500 toneladas/ano. A partir destas informações foi estimado para o estudo um pequeno mercado interno de produção de óleos essenciais de pimenta longa, sobre tudo da comercialização do safrol (composto químico resultante da extração da massa verde da pimenta longa de importante valor agregado). Foi adotado para a simulação a demanda de 2.000 litros anuais ou aproximadamente 167 litros mensais de óleo essencial.

De acordo com a estrutura configurada de produção, a capacidade máxima de produção estimada foi de 440,35 litros mensais, totalizando 5.284,22 litros de óleo essencial produzido anualmente, destes 100% serão considerados como óleo essencial. Neste mesmo processo haverá um subproduto resultante da extração de óleo chamado hidrolato, com níveis de produção estimados em 5 por 1 em relação a capacidade máxima de produção de óleo essencial de pimenta longa. Porém apenas 20% desta produção será comercializada aproximadamente 1.056,84 litros de óleo essencial e 211,36 litros de hidrolato, visando um equilíbrio nos custos de produção e valores de receita dentro dos padrões usuais de mercado. Essas estimativas visam à calibração do modelo para a simulação de resultados.

Para estimar o preço de venda adotar-se-á o método clássico, aplicando a fórmula abaixo:

$$\textit{Preço de Venda} = \textit{Custo Total} + \textit{Margem de Lucro}$$

Para este estudo estipula-se um percentual de 40% de margem de lucro para geração de preço, como demonstra o Quadro 5.9.

Quadro 5.9 – Composição do preço de venda Óleo Essencial.

Custo Fixo	R\$ 17.000,00
Custo Variável	R\$ 66.591,36
Custo Agrônômico Complementar	R\$ 78.000,00
Custo Total	R\$ 161.591,36
Mark up	40%
Custo Total + Margem/Markup	R\$ 226.227,90
Produção Anual	1056 L
<b>Preço de venda</b>	<b>R\$ 214,23/L</b>

Fonte: O autor (2016).

Como teremos o mesmo custo operacional para produzir o hidrolato, adotaremos percentual de 15% sobre o preço de venda do óleo essencial, resultando em R\$ 32,13 (trinta e dois reais e treze centavos) o litro, conforme o Quadro 5.10.

Quadro 5.10 – Composição do preço de venda Hidrolato.

Custo Total + Margem de Lucro	R\$ 226.227,90
Preço de venda óleos essencial	<b>R\$ 214,23/L</b>
Percentual do preço a ser aplicado	<b>15%</b>
<b>Preço de venda hidrolato</b>	<b>R\$ 32,13/L</b>

Fonte: O autor (2016).

Para estimar o lucro anual de vendas, foi considerada a absorção total da produção no mercado interno, adequando parcialmente à oferta e à demanda, e satisfazendo os critérios de produção referente aos dois produtos. O período de produção considerado será de 1 ano, mantendo o preço de venda de R\$ 214,23 (duzentos quatorze reais e vinte e três centavos), sem alterações, evitando assim que o valor da matéria-prima influencie diretamente no preço de venda de ambos os produtos. Os Quadros 5.11 e 5.12 apresentam as receitas estimadas de vendas de óleos essenciais de pimenta longa e hidrolato no período de 10 anos.

Quadro 5.11 – Receita de Vendas Anual de Óleo Essencial de Pimenta Longa

(Continua)

Período	Produção anual	Preço de venda	Receita
Ano 1	1056 L	R\$ 214,23	R\$ 226.226,88
Ano 2	1056 L	R\$ 214,23	R\$ 226.226,88
Ano 3	1056 L	R\$ 214,23	R\$ 226.226,88
Ano 4	1056 L	R\$ 214,23	R\$ 226.226,88
Ano 5	1056 L	R\$ 214,23	R\$ 226.226,88
Ano 6	1056 L	R\$ 214,23	R\$ 226.226,88

(Conclusão)

Período	Produção anual	Preço de venda	Receita
Ano 7	1056 L	R\$ 214,23	R\$ 226.226,88
Ano 8	1056 L	R\$ 214,23	R\$ 226.226,88
Ano 9	1056 L	R\$ 214,23	R\$ 226.226,88
Ano 10	1056 L	R\$ 214,23	R\$ 226.226,88

Fonte: O autor (2016).

Quadro 5.12 - Receita de Vendas Anual de Hidrolato

Período	Produção anual	Preço de venda	Receita
Ano 1	211 L	R\$ 32,13	R\$ 6.779,43
Ano 2	211 L	R\$ 32,13	R\$ 6.779,43
Ano 3	211 L	R\$ 32,13	R\$ 6.779,43
Ano 4	211 L	R\$ 32,13	R\$ 6.779,43
Ano 5	211 L	R\$ 32,13	R\$ 6.779,43
Ano 6	211 L	R\$ 32,13	R\$ 6.779,43
Ano 7	211 L	R\$ 32,13	R\$ 6.779,43
Ano 8	211 L	R\$ 32,13	R\$ 6.779,43
Ano 9	211 L	R\$ 32,13	R\$ 6.779,43
Ano 10	211 L	R\$ 32,13	R\$ 6.779,43

Fonte: O autor (2016).

O ponto de equilíbrio é um indicador de segurança aplicado a projetos e negócios, pois demonstra o quanto é necessário vender ou produzir para que as receitas se igualem aos custos, ou seja, onde receita e custos possuem o mesmo valor. Ele indica em que momento, a partir das projeções de produção de determinado projeto, a empresa estará igualando suas receitas e custos tendo lucro zero, conseqüentemente é a partir da produção e venda da unidade seguinte, que o projeto ou empreendimento da empresa passará a ter lucro.

Cabe informar que com a determinação bem estruturada do Ponto de Equilíbrio (PE), calculado pela equação 5.1, é possível eliminar a possibilidade de prejuízo na operação do empreendimento. No Quadro 5.13 e na Figura 5.1 são apresentados os dados usados no cálculo e os resultados obtidos.

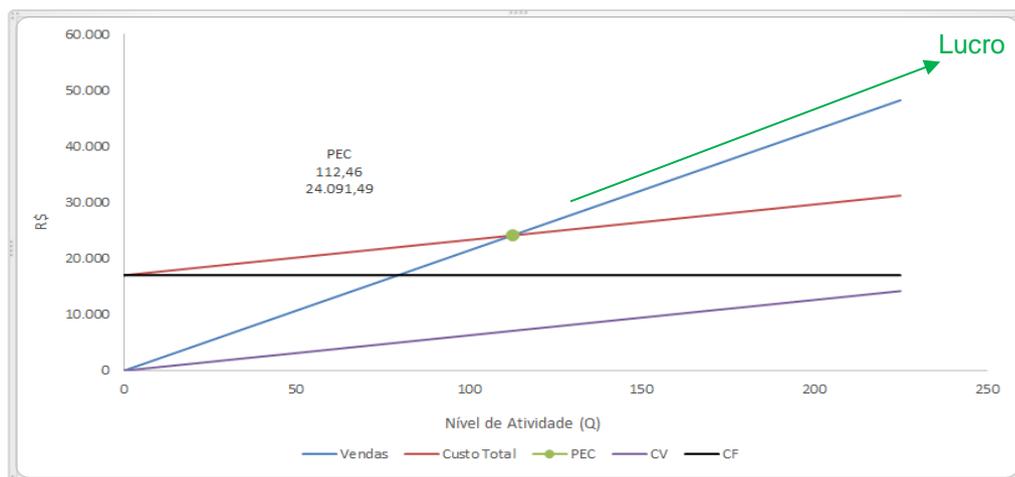
$$P_E = \frac{CF_{anual}}{PV - CV_u} \quad (5.1)$$

Quadro 5.13 – Ponto de Equilíbrio

Pimenta Longa	Valor
CFAnual	R\$ 17.000,00
PV1	R\$ 214,23
Cvu	R\$ 63,06
<b>PE</b>	112,456 Litros

Fonte O autor (2016)

Figura 5.1 – Ponto de Equilíbrio Financeiro



Fonte O autor (2016)

O demonstrativo de resultados de exercício (DRE) é uma demonstração contábil que se destina a evidenciar a formação do resultado líquido ou geração de riqueza do exercício através do confronto das receitas, custos e despesas. O DRE deste empreendimento está apresentado no Quadro 5.14.

O fluxo de caixa sobre os custos pré-operacionais estimados durante os 10 anos de operação da unidade industrial de produção está apresentado no Quadro 5.15.

Quadro 5.14 - Demonstrativo do Resultado do Exercício (DRE)

Descrição	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Receita de Vendas	R\$ 226.226,88									
Custo Variável	(R\$ 66.591,36)									
Lucro Bruto	R\$ 159.635,52									
Despesas Financeiras	(R\$ 78.000,00)									
Despesas ADM	(R\$ 17.000,00)									
Depreciação	(R\$ 6.100,00)									
Lucro Tributável	R\$ 134.857,48									
Imposto de Renda	(R\$ 8.780,32)									
Lucro Líquido	R\$ 49.755,19									

Fonte: O autor (2016).

Quadro 5.15 - Fluxo de caixa sobre o capital próprio

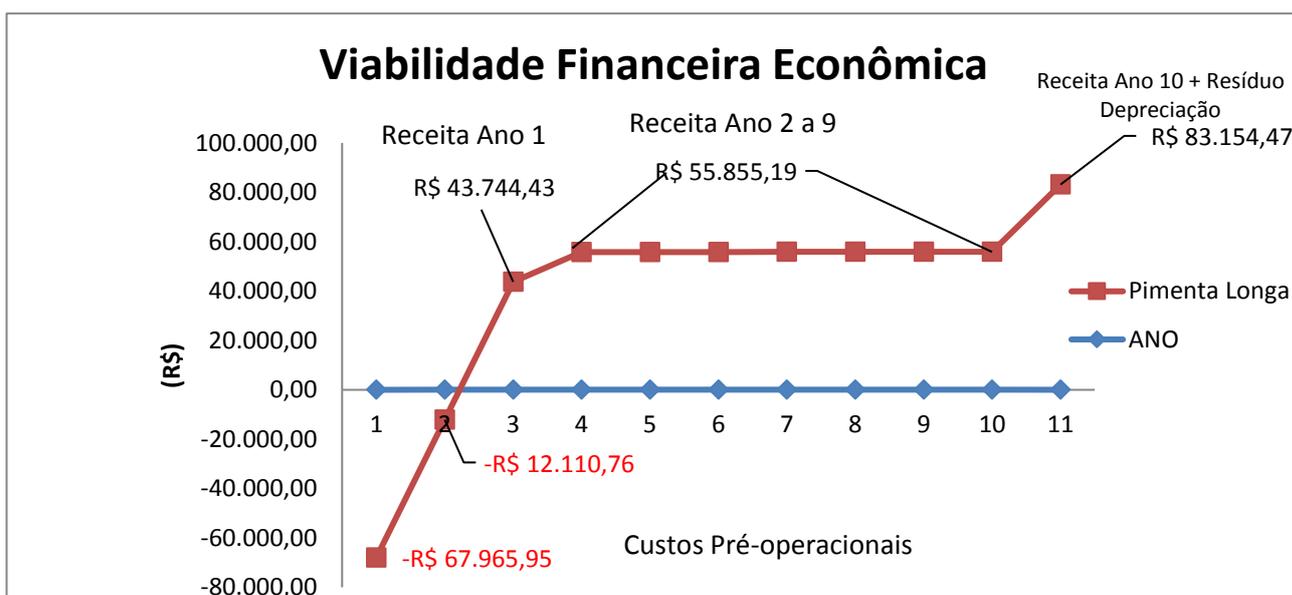
Descrição	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Lucro Líquido (R\$)	-	49.755,19	49.755,19	49.755,19	49.755,19	49.755,19	49.755,19	49.755,19	49.755,19	49.755,19	49.755,19
Invest. Fixo Próprio (R\$)	(61.000,00)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Capital de Giro (R\$)	(6.965,95)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.965,95
Depreciação (R\$)	-	6.100,00	6.100,00	6.100,00	6.100,00	6.100,00	6.100,00	6.100,00	6.100,00	6.100,00	6.100,00
Amortização (R\$)	-	(67.965,95)	(12.110,76)	-	-	-	-	-	-	-	-
Valor Residual (R\$)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20.333,33
Fluxo (R\$)	(67.965,95)	(12.110,76)	43.744,43	55.855,19	55.855,19	55.855,19	55.855,19	55.855,19	55.855,19	55.855,19	86.154,47

Fonte: O autor (2016).

Para determinação do Valor Presente Líquido (VPL) do empreendimento foi considerada uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 25% ao ano e taxa de imposto de renda de 15% ao ano. O VPL foi calculado sobre o fluxo de caixa do capital próprio, tendo-se um valor de R\$ 72.272,78 (Setenta e dois mil, duzentos e setenta e dois reais e setenta e oito centavos) positivo, que representa a viabilidade do empreendimento e geração de riqueza. A taxa interna de retorno (TIR), determinada através da igualdade do valor do fluxo de caixa do capital próprio à zero, é de 45,56% ao ano.

Desta forma, quando comparada a TIR (45,56%) com a TMA aplicada (25%), conclui-se que o capital investido no empreendimento é financeiramente atrativo. A Figura 5.2 apresenta a evolução do estudo no contexto de viabilidade financeira.

Figura 5.2 – Gráfico da evolução econômica financeira



Fonte: O autor (2016).

#### 5.4.2. Simulação da função objetivo pimenta longa (*Piper hispidinervum*)

Os dados obtidos na unidade piloto foram extrapolados para uma unidade industrial para fins de contemplar a simulação da função objetivo. Foi admitida para estudo a quantidade de 100% (1056 litros) de óleo essencial produzida e 20% de hidrolato resultante do processo de extração efetuado. Aplicando a função objetivo (Equação 4.4), calcula-se o lucro máximo nas condições previamente apresentadas.

$$\text{Max } L = X_1 \cdot Q_{p1} + X_2 \cdot Q_{p2} - \text{CUSTOS} \quad (4.4.)$$

onde:

$X_1$  = preço estimado do óleo essencial – R\$ 214,23;

$Q_{p1}$  = quantidades produzidas de óleo essencial – 1.056 litros;

$X_2$  = preço estimado do hidrolato – R\$ 32,13;

$Q_{p2}$  = quantidades produzidas de hidrolato – 211,2 Litros;

CUSTOS = São o somatório dos custos variáveis, custos fixos e custos agronômicos complementares – R\$ 161.591,36 adicionado o percentual de margem de lucro de 40% totalizando o valor de R\$ 226.227,90.

Dados usados na definição dos custos:

- Espécie de planta: Pimenta longa (*Piper hispidinervum*);
- Custos fixos: 17.000,00u.m.;
- Custos variáveis: 66.591,36 u.m.;
- Custos agronômicos complementares: 78.000,00u.m.;
- Horas de produção anual: 1.920 horas/160 horas mensais.
- Produção anual - óleo essencial: 1.056L;
- Produção anual - hidrolato: 211,2L;
- Preço de venda (valor unitário – 1L óleo essencial): R\$ 214,23;
- Preço de venda (valor unitário – 1L hidrolato): R\$ 32,13;
- Margem de lucro: 40%.

Definição das Variáveis de Decisão, Função Objetivo, Restrições Técnicas e de Não-negatividade:

- Variáveis de Decisão: conforme declarado acima é necessário estabelecer o plano de produção, ou seja, quais as quantidades anuais que devem ser produzidas de óleo essencial ( $P_1$ ) e hidrolato ( $P_2$ ). Sendo assim, as variáveis de decisão são definidas como  $X_1$  para óleo essencial e  $X_2$  para hidrolato:
  - a.  $X_1 \rightarrow$  quantidade anual a produzir de óleo essencial de  $P_1$ ;

b.  $X_2 \rightarrow$  quantidade anual a produzir de hidrolato de P2.

Função Objetivo: o objetivo é maximizar o lucro, que pode ser calculado:

- Lucro devido de óleo essencial:  $R\$ 214,23 * X_1$  (Lucro por unidade de P1 x Quantidade Produzida de P1);
- Lucro devido de hidrolato:  $R\$ 32,13 * X_2$  (Lucro por unidade de P2 x Quantidade Produzida de P2);
- Lucro Total:  $L = R\$ 214,23 * X_1 + R\$ 32,13 * X_2$

Restrições: as restrições impostas pelo sistema são:

- Disponibilidade de horas para a produção: 1.920 horas.
  - a. Horas ocupadas com P1 =  $160 * X_1$  (uso por unidade x quantidade produzida);
  - b. Horas ocupadas com P2 =  $160 * X_2$  (uso por unidade x quantidade produzida);
  - c. Total de horas ocupadas na produção:  $P1 + P2 = 160 * X_1 + 160 * X_2$
  - d. A disponibilidade de P1 é de 100% do total de horas de produção e P2 também possui 100% de horas destinadas à produção, pois é subproduto de P1.
  - e. Disponibilidade: 1.920 horas.
  - f. Restrição descritiva da situação:  $(160 * X_1 + 160 * X_2) \leq 1920$
- Disponibilidade de mercado para os produtos (demanda)
  - a. Disponibilidade para P1: 1.056 unidades (Litros)
    - Quantidade a produzir de P1:  $X_1$
    - Restrição descritiva da situação:  $X_1 \leq 1.056$
  - b. Disponibilidade para P2: 211,2 unidades;
    - Quantidade a produzir de P2:  $X_2$
    - Restrição descritiva da situação:  $X_2 \leq 211,2$

Resumo do modelo:  $L = R\$ 214,23 * X_1 + R\$ 32,13 * X_2$

Sujeito a:

$$\text{Restrições} \left\{ \begin{array}{l} \text{Técnicas} \left\{ \begin{array}{l} 160X_1 + 160X_2 \text{ ou } 100\%.X_1 + 100\%.X_2 \leq 1.920 \\ X_1 \leq 1.056 \\ X_2 \leq 211,2 \end{array} \right. \\ \text{de não negatividade} \left\{ \begin{array}{l} X_1 \geq 0 \\ X_2 \geq 0 \end{array} \right. \end{array} \right.$$

*Resumo:*

- Maximizar:  $L = \text{R\$ } 214,23 * X_1 + 32,13 * X_2$
- Sujeito a:
  - a.  $(160 * X_1 + 160 * X_2 \text{ ou } 1.X_1 + 1.X_2) \leq 1920$
  - b.  $X_1 \leq 1.056$
  - c.  $X_2 \leq 211,2$
  - d.  $X_1 \geq 0$
  - e.  $X_2 \geq 0$

#### 5.4.2.1. Resolução da simulação utilizando o MS-Excel (Solver)

Antes de apresentar a resolução completa do modelo, cabe demonstrar a dinâmica na elaboração do modelo via MS-Excel com o suplemento *Solver*. Para tanto utilizaremos a técnica mais utilizada em pesquisa operacional, denominada de programação linear.

O **Solver** faz parte de um conjunto de programas, que geralmente são chamados de ferramentas de análise hipotética, ou seja, uma ferramenta que possibilita encontrar um valor ideal (otimizado) para uma determinada equação. Para resolver problemas lineares e de números inteiros, o Solver utiliza o algoritmo Simplex com limites sobre as variáveis e o método de desvio e limite.

Modelo de Otimização: a montagem de um modelo de otimização no Excel possui três partes:

- Célula de destino (fórmula da função objetivo);
- Células variáveis;
- Restrições Técnicas e de não-negatividade.

Os procedimentos a seguir visam adequar o método do modelo matemático (Equação 4.4) ao MS-Excel. O foco aqui é facilitar a passagem dos dados do modelo matemático convencional para uma planilha do Excel e posteriormente a manipulação dos mesmos pelo **Solver**.

- **Célula de destino:** É a célula que representa o objetivo que se deseja atingir, ou seja, maximização de lucro. Esta célula <B5> (Figura 5.3) deverá conter uma fórmula que represente a função objetivo do modelo proposto neste caso será digitado  $\leq E2*B3+F2*C3$ . Nesta célula estará a combinação da quantidade de **óleo essencial** e **hidrolato** a serem produzidos conforme capacidades de produção e preço de cada produto.

Figura 5.3 – Programação da Função Objetivo.

	A	B	C	D	E	F
1		QP1	QP2		Preço OE	Preço Hid.
2		X1	X2			
3						
4	Função Objetivo	=E2*B3+F2*C3				
5					0	
6	Lucro Líquido	R\$	-		0	

**Célula Destino:**  
Esta célula deverá conter uma fórmula que represente a função objetivo do modelo proposto:  
Células Exemplo = E2\*B3+F2\*C3

Fonte: O autor (2016).

- **Células variáveis:** Estas células poderão ser alteradas ou ajustadas a fim de atingir a otimização da célula de destino (função objetivo). A determinação destes valores está diretamente relacionada às restrições e/ou limitações do modelo. Porém elas não são pré-programadas, conforme apresentado na Figura 5.4.

Figura 5.4 – Células Variáveis.

	A	B	C	D	E
1		QP1	QP2		Preço OE
2		X1	X2		
3					
4	Função Objetivo	R\$	-		
5				Rest. Tec	0

**Células Variáveis:**  
Células variáveis são células de resultado. Elas não são previamente programadas: são elas B3 e C3

Fonte: O autor (2016).

- **Restrições Técnicas:** As células das restrições representam os valores a que o modelo está limitado. Estes valores estão relacionados à quantidade de recursos disponíveis, por exemplo, matéria-prima, mão de obra, horas disponíveis para produção, sendo que não podemos produzir mais do que é demandado, portanto a demanda também pode ser um fator limitante do modelo. Geralmente cada restrição pode ser constituída em três células, no modelo exemplo (Figura5.5) são apresentadas as células <E5>, <E6> e <E7> com os respectivos conteúdos de fórmula:

- Na célula <E5> digitar:  $\leq G2*B3+H2*C3$ ;
- Na célula <E6> digitar:  $\leq B3$ ;
- Na célula <E7> digitar:  $\leq C3$ .

Figura 5.5 – Restrições Técnicas.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		QP1	QP2		Preço OE	Preço Hid.	Horas Prod (OE)	Horas Prod (Hid)
2		X1	X2					
3								
4	Função Objetivo	R\$	-					
5				Rest.	0			
6					0			
7					0			
8								

**Restrições Técnicas:**  
Estas três células <E5>, <E6> e <E7> são restrições técnicas:  
- Na célula <E5> digitar a fórmula " $=G2*B3+H2*C3$ "  
- Na célula <E6> digitar " $=B3$ "  
- Na célula <E7> digitar " $=C3$ "

Fonte: O autor (2016).

- **Células Auxiliares:** As células auxiliares são utilizadas para facilitar o ajuste de quantidades, preços e outros itens relacionados à construção do modelo. As células auxiliares <E2> e <F2> são os valores dos preços de cada produto, as células <G2> e <H2> são valores de horas de produção. As células <F5>, <F6> e <F7> são os limites de capacidade, ou seja, são valores referentes às restrições técnicas.

Todas estas células auxiliares devem ser digitadas uma a uma para que o Solver possa operar de forma satisfatória, conforme apresentado na Figura 5.6 abaixo:

Figura 5.6 – Células Auxiliares.

	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	QP2		Preço OE	Preço Hid.	Horas Prod (OE)	Horas Prod (Hid)			
2	X2								
3									
4			Recursos P	Limites P	Unidade de Medida				
5		Rest.	0		Litros				
6			0		Horas				
7			0		Área				
8									

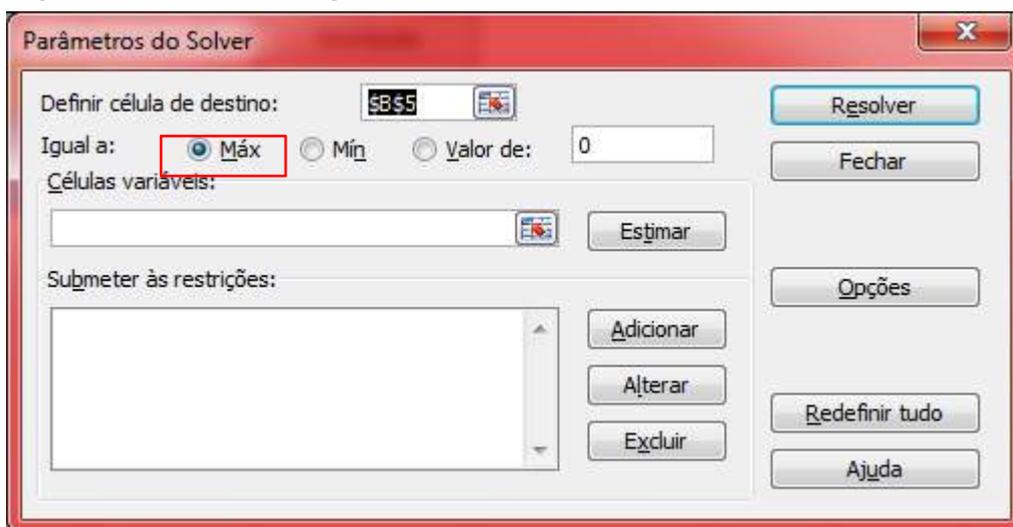
Fonte: O autor (2016).

#### 5.4.2.2. Resolvendo Problema de Programação Linear no Solver

Após a explicação sobre os campos que devem conter as fórmulas, a aplicação do **Solver** para a resolução efetiva do problema considerado na pesquisa de maximização de lucro será apresentada, utilizando a metodologia anteriormente descrita. Para tanto, o MS-Excel e o **Solver** serão abastecidos com os dados obtidos do processo de extração e produção do óleo de pimenta longa.

1. Selecione a célula de destino <B5> e execute a ferramenta Solver. Para isso, clique na célula <B5> e depois clique na aba do menu superior <dados> e em seguida clique em **Solver** (Figura 5.7).

Figura 5.7 - Caixa de diálogo dos Parâmetros da Ferramenta Solver.



Fonte: O autor (2016).

2. Observando ainda a Figura 5.7. Define-se o tipo otimização: <Max> para maximizar a função objetivo e <Min> para minimizar a função objetivo. Neste caso da simulação, será a opção <Max> para maximizar o Lucro. Especifique as células ajustáveis. Quando essas células forem adjacentes, clique na caixa <Células variáveis>, clique na primeira célula e arraste até a última célula variável. Caso contrário, utilize ponto e vírgula entre cada referência. No caso da simulação, as células <B3> e <C3> podem ser referenciadas como <B3:C3> por serem adjacentes.
3. No quadro <Submeter às restrições>, siga os seguintes passos para inserir as restrições:
  - a) Clique no botão Adicionar. Abre uma janela conforme a Figura 5.8;
  - b) Clique na caixa Referência de célula, em seguida na célula ou digite a referência que conterá o valor que será comparado com o limite da restrição que está sendo especificada.
  - c) Escolha o operador conforme o tipo de restrição.
  - d) Clique na caixa Restrição, em seguida na célula ou digite a referência que contém o limite para a restrição que está sendo especificada e depois em OK para adicionar a restrição.

Figura 5.8 - Janela Adicionar restrição com a 1ª restrição do modelo proposto definida.

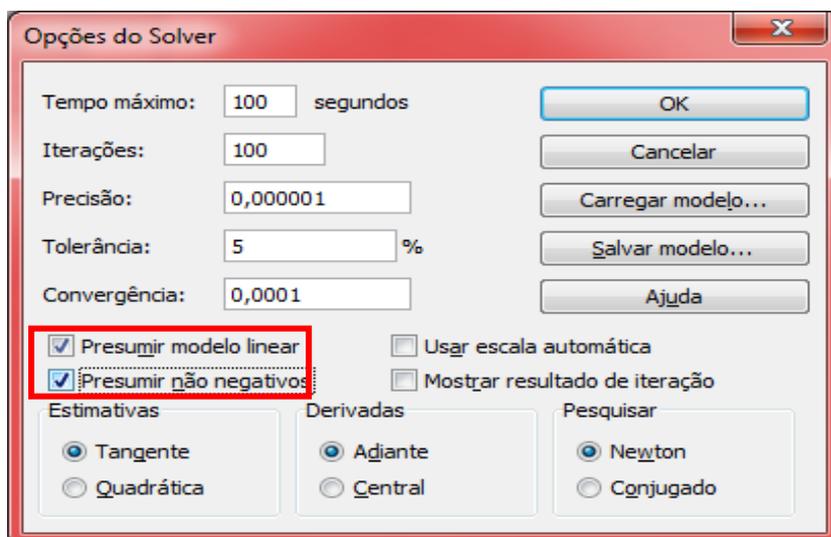


Fonte: O autor (2016).

O passo 3 e todos os seus sub-passos devem ser repetidos para cada restrição do modelo.

4. Para atender às restrições de não negatividade, clique no botão <opções> e selecione a caixa de seleção <Presumir não negativos>. Como se está trabalhando com problemas lineares, selecione também a caixa de seleção <Presumir modelo linear>, conforme demonstrado na Figura 5.9.

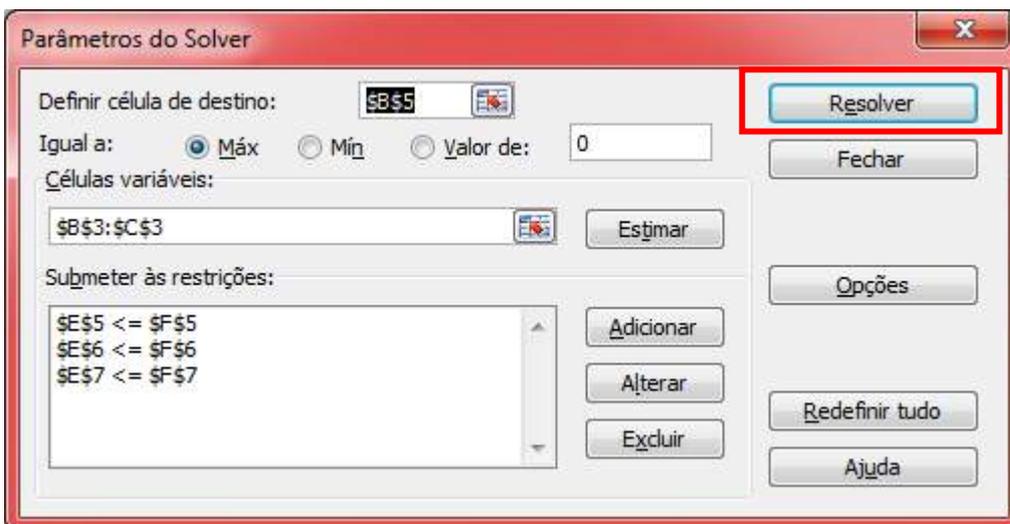
Figura 5.9 - Caixa de diálogo Opções do Solver.



Fonte: O autor (2016).

A Figura 5.10 demonstra como a simulação ficará definida no **Solver**. Antes de clicar no botão <Resolver>, certifique-se de que todas as definições estejam corretas.

Figura 5.10 - Janela do Solver com as definições da simulação.



Fonte: O autor (2016).

5. Clique no botão **<Resolver>**. Surgirá uma janela perguntando se desejamos Manter ou Restaurar os valores, como mostra a Figura 5.11. Também é possível selecionar os relatórios sobre o processo de solução. Nesta simulação foram selecionadas as opções **<Resposta>** e **<Sensibilidade>** que serão analisadas posteriormente, após clique em OK.

Figura 5.11 - Janela de Resultados do Solver.



Fonte: O autor (2016).

Após o preenchimento da planilha com os dados, em seguida é executada a ferramenta *Solver* que geram os resultados que estão apresentados na Figura 5.12. O *Solver* apresenta o resultado final do processo de otimização retornando na função objetivo o valor maximizado de acordo com os dados obtidos do processo de produção e estimação de receita inicial dos produtos (pimenta longa e hidrolato).

Figura 5.12–Resultado final da planilha após rodar o Solver – Pimenta Longa.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	PIMENTA LONGA	QP1	QP2		Preço OE	Preço Hid.	Horas Prod (OE)	Horas Prod (Hid)
2		X1	X2		214,23	32,13	1	1
3		1056	211					
4					Recursos Prod	Limites Prod	Unidade	
5	Função Objetivo	R\$ 233.012,74		Rest. Tec	1267,2	1920	Horas	
6					1056	1056	Litros	
7					211,2	211,2	Litros	

Fonte: O autor (2016).

#### 5.4.2.3. Relatórios Gerenciais Após Aplicação do Solver

Após a tabulação dos dados do modelo, o Solver gerou as respostas ou soluções referentes à otimização do sistema de produção de óleo essencial e hidrolato. Essas respostas, além de serem mostradas em planilhas MS-Excel como visto anteriormente, também podem ser geradas em formato de relatórios. São apresentados a seguir dois relatórios: Relatório de Respostas (Figura 5.13) e Relatório de Sensibilidade (Figura 5.14).

Figura 5.13 – Relatório de Respostas da Simulação (Solver) – Pimenta longa.

Célula	Nome	Valor original	Valor final
\$B\$5	FO X1	R\$ -	R\$ 233.012,74
\$B\$3	X1	0	1056
\$C\$3	X2	0	211

Célula	Nome	Valor da célula	Fórmula	Status	Transigência
\$E\$5	Rest. Tec Recursos Prod	1267,2	\$E\$5<=\$F\$5	Sem agrupar	652,8
\$E\$6	Recursos Prod	1056	\$E\$6<=\$F\$6	Agrupar	0
\$E\$7	Recursos Prod	211,2	\$E\$7<=\$F\$7	Agrupar	0

Fonte: O autor (2016).

O relatório de respostas apresentou valores satisfatórios referentes ao modelo de matemático. A produção de óleo essencial e hidrolato foi totalmente contemplada, atingindo o máximo de sua capacidade produtiva e indicando folga em horas de produção, ou seja, ela otimizou o tempo de produção, obtendo o lucro máximo de produção em 1.267,2 horas anuais. Os resultados indicam folga de 652,8 horas para aumentar a produção, estimando um adicional de produção de 54,4 horas mês.

Na Figura 5.14 são apresentados os resultados do relatório de sensibilidade, que confirmam a folga de horas que podem ser reaproveitadas no processo de produção como forma de aumentar o lucro.

Figura 5.14 - Relatório de Sensibilidade da Simulação (Solver) – Pimenta longa

Microsoft Excel 12.0 Relatório de sensibilidade				
Planilha: [P.O-JOAO-2016 - Final-17-8.xlsx]Resultado Final PIPER				
Relatório criado: 20/08/16 15:08:23				
Células ajustáveis				
Célula	Nome	Final Valor	Reduzido Gradiente	
\$B\$3	X1	1056	0	
\$C\$3	X2	211,2	0	
Restrições				
Célula	Nome	Final Valor	Lagrange Multiplicador	
\$E\$5	Rest. Tec Recursos Prod	1267,2	0	
\$E\$6	Recursos Prod	1056	214,2299957	
\$E\$7	Recursos Prod	211,2	32,13000107	

Fonte: o Autor (2016)

Está indicado nas elipses em vermelho que 1.267 horas foram utilizadas para produção de 1.056 litros de óleo essencial de pimenta longa e 211,2 litros de hidrolato, preservando os mesmos preços de venda de ambos os produtos.

Em uma abordagem econômica financeira, o lucro bruto aumentou de R\$ 226.226,88 para R\$ 233.012,74. Este acréscimo parece pequeno, porém como se aplicou uma margem de lucro de 40%, houve um ganho de mais 2,9%, que para fins de mercado pode representar um excelente índice. Desta forma a aplicação da metodologia de maximização, utilizando Pesquisa Operacional com a técnica de Programação Linear, atingiu o objetivo proposto de maximização do lucro da unidade

industrial projetada. Cabe informar que as horas excedentes, poderiam gerar um lucro ainda maior com a produção de óleos essenciais, na ordem de R\$139.849,98 levando-se em conta o valor de venda de R\$ 214,32.

#### 5.4.3. Simulação de função objetivo para os óleos essenciais de citronela (*Cymbopogon winterianus*) e capim-limão (*Cymbopogon citratus*)

Para validar o modelo proposto neste trabalho, utilizar-se á a mesma função objetivo (Equação 4.4) para simular a produção dos óleos essenciais de citronela e capim-limão, tendo como base os dados obtidos de Valle et al. (2014) e Reis et al. (2010), respectivamente.

$$\text{Max } L = X_1 \cdot Q_{p1} + X_2 \cdot Q_{p2} - \text{CUSTOS} \quad (4.4)$$

onde:

$X_1$  = preço estimado do óleo essencial citronela – R\$ 239,40;

$Q_{p1}$  = quantidades produzidas de óleo essencial citronela – 4224 litros;

$X_2$  = é o preço estimado do óleo essenciais capim limão – R\$ 159,60;

$Q_{p2}$  = são as quantidades produzidas de óleo essencial de capim limão – 6336 Litros;

**CUSTOS** = São o somatório dos custos variáveis, custos fixos e custos agronômicos complementares – R\$ 842.697,62 - adicionado o percentual de margem de lucro de 20%, totalizando o valor de R\$ 1.011.237,14.

Obtenção dos dados agronômicos da citronela (*Cymbopogon winterianus*) e capim-limão (*Cymbopogon citratus*);

- Custos Fixos: 485.283,86 u.m.
- Custos Variáveis: 357.413,76 u.m.
- Custos Agronômicos Complementares: 0,0 u.m.
- Horas de Produção Anual: 4.500 horas.
- Horas de produção anual: 4.500 horas/375 horas mensais.

- Produção anual - Óleo essencial: 4224 L.
- Produção anual - Óleo essencial: 6336 L.
- Preço de Venda (valor unitário – 1L óleo essencial): R\$ 239,40.
- Preço de Venda (valor unitário – 1L óleo essencial): R\$ 159,60.
- Margem de Lucro: 20,00%.

Definição das Variáveis de Decisão, Função Objetivo, Restrições Técnicas e de Não-negatividade:

- Variáveis de Decisão: conforme declarado acima é necessário estabelecer o plano de produção, ou seja, quais as quantidades anuais que devem ser produzidas de óleo essencial de citronela, definido como P1, e de capim-limão, definido como P2. Portanto as variáveis de decisão serão  $X_1$  e  $X_2$ .

Função Objetivo: o objetivo é maximizar o lucro de produção dos óleos essenciais de citronela e capim-limão:

- Lucro devido de P1:  $R\$ 239,40 * X_1$  (Lucro por unidade de P1 x Quantidade Produzida de P1);
- Lucro devido de P2:  $R\$ 159,60 * X_2$  (Lucro por unidade de P2 x Quantidade Produzida de P2);
- Lucro Total:  $L = R\$ 239,40 * X_1 + R\$ 159,60 * X_2$

Restrições: as restrições impostas pelo sistema são:

- Disponibilidade de horas para a produção: 4.500 horas.
- a. Horas ocupadas com a produção de óleo essencial Citronela:  $375 * X_1$  (uso por unidade x quantidade produzida).
- b. Horas ocupadas com a produção de Capim limão:  $375 * X_2$  (uso por unidade x quantidade produzida).
- c. Total de horas ocupadas na produção:  $375 * X_1 + 375 * X_2$
- d. Restrição descritiva da situação:  $375 * X_1 + 375 * X_2 \leq 4.500$

- Disponibilidade de mercado para os produtos (demanda)
  - a. Disponibilidade para OE citronela: 4.224 unidades;
    - Quantidade a produzir de EO citronela:  $X_1$
    - Restrição descritiva da situação:  $X_1 \leq 4.224$
  - b. Disponibilidade para OE capim-limão: 6.336 unidades;
    - Quantidade a produzir OE capim-limão:  $X_2$
    - Restrição descritiva da situação:  $X_2 \leq 6.336$

*Resumo do modelo:*  $L = R\$ 239,40 * X_1 + R\$ 159,60 * X_2$

Sujeito a:

$$\text{Restrições} \left\{ \begin{array}{l} \text{Técnicas} \\ \left\{ \begin{array}{l} 375X_1 + 375X_2 \text{ ou } 100\%X_1 + 100\%X_2 \leq 4.500 \\ X_1 \leq 4224 \\ X_2 \leq 6336 \end{array} \right. \\ \text{de não negatividade} \left\{ \begin{array}{l} X_1 \geq 0 \\ X_2 \geq 0 \end{array} \right. \end{array} \right.$$

*Resumo:*

- Maximizar:  $L = 239,40 * X_1 + 159,60 * X_2$
- Sujeito a:
  - a.  $375 * X_1 + 375 * X_2 \text{ ou } 1 * X_1 + 1X_2 \leq 4.500$
  - b.  $X_1 \leq 4224$
  - c.  $X_2 \leq 6336$
  - d.  $X_1 \geq 0$
  - e.  $X_2 \geq 0$

#### 5.4.3.1. Resolvendo Problema de Programação Linear no Solver

Como o processo de resolução é o mesmo da simulação com os dados da produção de óleo essencial de pimenta longa, a seguir são apresentados os resultados do *Solver* para a simulação com os dados de produção de óleo essencial das espécies citronela e capim limão obtidos dos estudos de Valle et al. (2014) e Reis et al. (2010), respectivamente. Para validar a metodologia desta pesquisa foram

aglutinados os dois estudos como uma unidade de produção com a fabricação de dois produtos distintos. Foram adotados os custos e a margem de lucro do estudo de Valle et al. (2014), ajustando o valor do preço de venda referente ao estudo de Reis et al. (2010) e aumentando as horas de produção de 1.920 anuais individuais para 4.500, visando adequar o processo de produção de OEs citronela e capim limão. Respeitou-se os critérios de formação de preço, volume de produção e processo de resolução da metodologia aplicada nesta pesquisa.

Após o preenchimento da planilha com os dados referentes aos estudos da produção de OEs citronela e capim limão ajustados, a ferramenta *Solver* foi acionada, fornecendo os resultados apresentados na Figura 5.15.

Figura 5.15 - Resultado final da planilha após rodar o Solver – Citronela e Capim limão.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	CITRONELA	QP1	QP2		Preço OE Citronela	Preço Capil L	Horas Prod (OEC)	Horas Prod (OECI)
2	CAPIM LIMA O	X1	X2		239,40	150,60	1	1
3		4224	276					
4								
5	Função Objetivo	R\$ 1.052.791,20		Rest. Tec	Recursos P	Limites P	Unidades	
6					4500	4500	Horas Prod (OE)	
7					4224	4224	Litros	
8					276	6336	Litros	
9								
10								
11								
12								
13								

Fonte: O autor (2016).

#### 5.4.3.2. Relatórios Gerenciais Após Aplicação do Solver – OEs citronela e capim limão

O Solver gerou as respostas ou soluções referentes à otimização do sistema de produção de óleo essencial de citronela e capim-limão. Essas respostas foram geradas em formato de relatórios similar aos resultados obtidos para o processo produtivo do óleo essencial de pimenta longa.

O relatório de respostas apresentado na Figura 5.16 confirmou os resultados de maximização e indicativos de folga na produção de óleos essenciais com a

aplicação do modelo de matemático. A produção de óleo essencial de citronela foi totalmente contemplada, atingindo-se o máximo de sua capacidade produtiva de 4224 litros, não apresentando folga de produção. Em relação à produção de óleo essencial de capim limão atingiu somente 276 litros, indicando folga de produção de 6.060 litros a serem produzidos. Referente às horas de produção, as mesmas foram completamente utilizadas.

Figura 5.16 - Relatório de Respostas da Simulação (Solver) – Citronela e Capim limão.

Célula	Nome	Valor original	Valor final
\$B\$5	Função Objetivo X1	R\$ -	R\$ 1.052.791,20

Célula	Nome	Valor original	Valor final
\$B\$3	X1	0	4224
\$C\$3	X2	0	276

Célula	Nome	Valor da célula	Fórmula	Status	Transigência
\$E\$5	Rest. Tec Recursos P	4500	\$E\$5<=\$F\$5	Agrupar	0
\$E\$6	Recursos P	4224	\$E\$6<=\$F\$6	Agrupar	0
\$E\$7	Recursos P	276	\$E\$7<=\$F\$7	Sem agrupar	6060

Fonte: O autor (2016).

Figura 5.17 - Relatório de Sensibilidade da Simulação (Solver) – Citronela e Capim limão.

Célula	Nome	Final Valor	Reduzido Gradiente
\$B\$3	X1	4224	0
\$C\$3	X2	276	0

Célula	Nome	Final Valor	Lagrange Multiplicador
\$E\$5	Rest. Tec Recursos P	4500	150,6000061
\$E\$6	Recursos P	4224	88,79998779
\$E\$7	Recursos P	276	0

Fonte: O autor (2016).

Na Figura 5.17 estão apresentados os resultados do relatório de sensibilidade, que apresentam os resultados da produção dos OEs citronela e capim limão. É sugerido valores entre R\$ 150,60 e R\$ 88,79 referentes a horas de produção de óleo

essencial de citronela, bem como não indicando adicionais de unidade de produção para o óleo essencial de capim limão. O modelo completou a simulação com sucesso e apresentou maximização de lucro de R\$ 1.052.791,20.

#### 5.4.4. Simulação de parâmetros no Software EssentialWeb

O software EssentialWeb foi desenvolvido para estudo visando possibilitar a análise do ponto de vista de desempenho tanto de processos que envolvem a estrutura de obtenção dos óleos essenciais, como nos valores econômicos financeiros obtidos por advento da aplicação da função objetivo, anteriormente simuladas com o foco na maximização de lucro, otimização de receitas e precificação.

Cabe informar que o software EssentialWeb possui em sua estrutura lógica o algoritmo ModCota®, que está sob o registro no INPI sob o n.º 02969-5, com autoria e titularidade do Pesquisador Dr. Eng.º Sérgio Brião Jardim, doutor em recursos hídricos pelo IPH - UFRGS que gentilmente cedeu sua utilização desde que citado nesta dissertação. O referido algoritmo foi desenvolvido segundo as metodologias referenciadas nesta pesquisa: Processo Analítico Hierárquico (SAATY, 2008), Programação de Compromisso (ZELENY, 1973) e Programação Linear Multiobjetivo (ZELENY 2012).

É sabido que a clara estruturação de um problema representa o passo indispensável e mais importante para a sua efetiva solução seja ele de simples ou de complexos indicadores a serem analisados. Foi considerado para esta análise as variáveis econômicas financeiras e de produção, buscando através da classificação, as melhores medidas de eficiência das espécies pesquisadas. Para validar a simulação adotaremos em variáveis econômicas e de produção separadamente, visando não mascarar o desempenho das plantas estudadas ou que possam causar discrepâncias nesta simulação em particular.

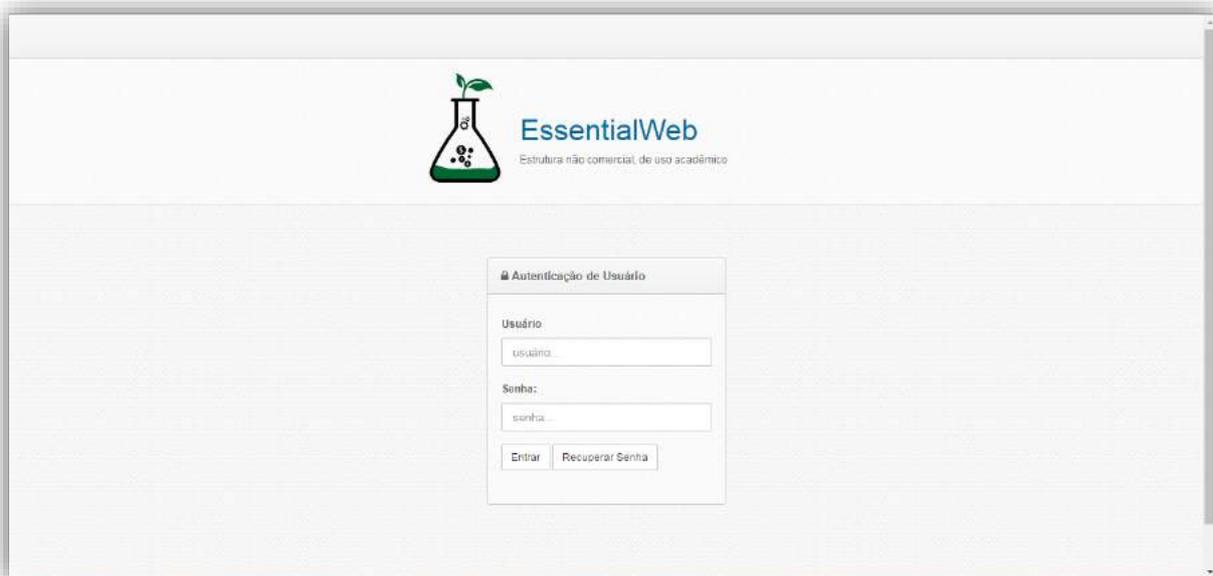
Os dados foram tabulados conforme os resultados obtidos nas simulações que envolveram as espécies de plantas: de pimenta longa (*Piper hispidinervum*), citronela (*Cymbopogon winterianus*) e capim-limão (*Cymbopogon citratus*)

#### 5.4.4.1. Construção da Análise

Visando analisar os resultados de forma bem estruturada, baseado nas técnicas de Análise Multicritério, Programação de Compromisso e o método do Processo Analítico Hierárquico, foram elencados os objetivos estabelecidos, com as alternativas de espécies de plantas pesquisadas, bem como a escolha de critérios ponderados de avaliação definidos e considerados como sendo os necessários e suficientes para a solução do problema em questão.

O Sistema EssentialWeb desenvolvido para analisar os resultados econômicos financeiros desta pesquisa, possui um algoritmo destinado ao apoio à decisão em contextos decisórios complexos, quando há diversos concorrentes com objetivos e interesses conflitantes, e na presença de vários critérios de avaliação. A escolha de aplicar o EssentialWeb para ambiente de produção e extração de óleos essenciais visa colaborar com a carência de softwares e aplicativos que possam melhorar este mercado sobre tudo em questões relacionadas à tomada de decisão em processos de produção e na avaliação de projetos tanto no foco quantitativo como qualitativo. Na Figura 5.18 é apresentado a tela inicial do sistema.

Figura 5.18 - Tela inicial do sistema EssentialWeb.



Fonte: O autor (2016).

O objetivo da análise dos resultados apresentados pela metodologia é poder comparar de forma equitativa as medidas de desempenho obtidas em dois momentos 1º pelas duas simulações anteriores, ou seja, os resultados obtidos pelo *Solver* nas referidas simulações, em 2º após obtida as informações do *Solver*, verificar entre ambas espécies qual possui o melhor desempenho de acordo com o perfil do seu processo de produção, custos e geração de receita. Esta avaliação comparativa entre as espécies tem o objetivo de fornecer informações que facilitem a tomada de decisão, como por exemplo: obter informações de qual espécie possui maior custo em comparação as demais ou em caso de investimentos, optar pela espécie com melhor desempenho visando aportes financeiros na produção.

- Atributos, variáveis do processo e pesos relativos

Os elementos de identificação próprios são os atributos que definirão, por exemplo, as espécies de plantas que participarão da análise. As variáveis indicam critérios de avaliação das alternativas de solução no sistema, chamadas de matéria prima, que fazem parte da escolha da melhor espécie para produção. Estas variáveis especificam os objetivos a serem esperados com a produção de óleos essenciais, sejam eles de processo ou econômicos financeiros. Estes objetivos resultaram da estruturação do problema (Árvore de Valor Hierárquico) e também derivam do processo de tomada de decisão.

Por exemplo, a variável **Receita de Vendas** que especifica e quantifica o objetivo de maximizar as vendas de produção de óleo essencial.

O peso relativo de cada variável significa a importância da mesma com relação às demais. No processamento, há a normalização de todos os pesos absolutos de tal forma que se cria um vetor com escala de zero a um.

- Matriz de Avaliação

A base do processamento que gera o ranking de eficiência proposta, chamada matriz de avaliação, é apresentada na Quadro 5.16.

Quadro 5.16 – Matriz de Avaliação.

Critérios de avaliação e pesos		Alternativas de solução		
		A1	A2 .....	An
C1	P1	A1(C1)	A2(C1).....	An(C1)
C2	P2	A1(C2)	A2(C2).....	An(C2)
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
Cx	Px	A1(Cx)	A2(Cx)	An(Cx)

Fonte: O autor (2016).

- Classificação de eficiência

O sistema gera o ranking de todas as alternativas de solução (matéria prima) através da produção de cotas em uma escala 0 a 1 em ordem crescente (a 1ª colocada é a que tem a menor cota, a última a que possui a maior cota). Isto, através da avaliação de cada alternativa concorrente com todas as demais com base no atendimento a todos os objetivos ao mesmo tempo. Para o exemplo, abordar-se-á dois cenários:

O Cenário 1 irá envolver variáveis econômicas, enquanto o Cenário 2 apenas variáveis de processo de produção. Desta forma as seguintes informações foram geradas.

Cenário 1:

- **Alternativas de solução**

A1 Pimenta longa (*Piper hispidinervum*).

A2 Citronela (*Cymbopogon winterianus*).

A3 Capim-limão (*Cymbopogon citratus*).

- **Crítérios de avaliação**

- C1      Custo fixo (anual).
- C2      Custo variável (anual).
- C3      Custo agrônômico complementar (anual).
- C4      Produção (anual).
- C5      Receita bruta de vendas (anual).
- C6      VPL.

Admite-se que as matérias-primas opcionais (plantas comparadas) para a escolha da melhor produção de óleo essencial tenham sido exaustivamente discutidas, negociadas e definidas pelos decisores mais representativos deste segmento de mercado, ou seja, a definição de quais as variáveis e pesos devem ser incorporadas no sistema. Trata-se evidentemente de uma disputa acirrada pelos mais variados indicativos de desempenho possíveis. Nesta pesquisa esta simulação contempla o segmento de produção e extração de óleos essenciais voltados ao agronegócio. Dependendo do caso, apenas como exemplo, alguns segmentos de mercado podem possuir forte influência política, poder econômico, além do engajamento de monopólios empresariais em cada região, estado e blocos econômicos em determinadas disputas.

No Quadro 5.17 é apresentada a matriz de avaliação preenchida com os dados obtidos dos estudos das três espécies para posterior análise, bem como a definição dos critérios e pesos.

Quadro 5.17 - Matriz de Avaliação (Medidas das Variáveis Cenário 1).

Critério	Peso	Alternativas de solução			Melhor	Pior
		A1	A2	A3		
C1	5	17.000	274.913	485.283	17.000	485.283
C2	6	66.591	106.740	357.413	66.591	357.413
C3	3	78.000	50.000	60.000	50.000	78.000
C4	4	1.056	4.224	6.336	6.336	1.056
C5	9	233.012	534.336	1.011.237	1.011.237	233.012
C6	10	141.382	113.893	<b>-159.969</b>	141.382	<b>-159.969</b>

Fonte: O autor (2016).

Em sequência na Figura 5.19 é apresentada a tela de preenchimento dos critérios (variáveis) e pesos que juntamente com os dados da matriz de avaliação resultaram nas cotas de eficiência de cada espécie de planta e suas respectivas classificações (ranking) por desempenho.

Figura 5.19 – Estruturação das variáveis e pesos do Cenário 1.

Fonte: O autor (2016).

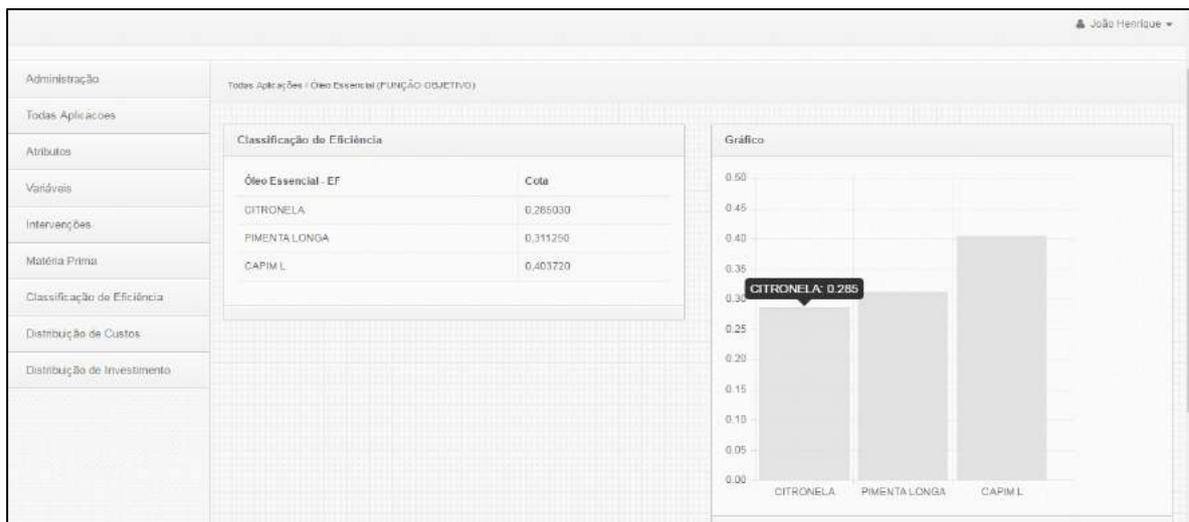
Os critérios de avaliação apresentados no Cenário 1 contemplam variáveis econômicas que são analisados com foco no desempenho financeiros de cada espécie de planta, relacionado a sua produção. No Quadro 5.18 e Figura 5.20 são apresentados os resultados com a classificação ou ranking da simulação.

Quadro 5.18– Classificação das Cotas de Eficiência (Cenário 1).

Alternativa de solução		Cota
1º	<b>A2 Citronela</b> A1 Pimenta longa A3 Capim limão	<b>0,285030</b> 0,311250 0,403720
2º		
3º		
Soma		1,000000

Fonte: O autor (2016).

Figura 5.20- Classificação do ranking de eficiência (matéria prima) Cenário 1.



Fonte: O autor (2016).

O Cenário 1 apresentou a espécie de planta citronela sendo a mais eficiente com a cota de 28,50% (0,2850), pimenta longa 31,12 % (0,3112) e capim-limão com 40,37% (0,4037), lembrando que as melhores alternativas de solução sempre buscam a menor medida percentual de acordo com a lógica do sistema e a soma de todas as medidas (cotas). Todas as cotas somadas devem sempre resultar em 1 (um). Nas Simulações podemos observar indicativos de baixo desempenho e até mesmo inviabilidade de produção, como por exemplo, na análise referente ao capim-limão, vejamos que uma vez sua medida de VPL (Valor Presente Líquido) sendo menor do zero ( $VPL < 0$ ), sua atividade de produção já estaria fora do certame por não gerar riqueza, por isso a avaliação criteriosa dos pesos e as escolhas dos critérios (variáveis) necessitam de muita atenção para não ocorrer erros que invalidem todo o processo de tomada de decisão.

No Cenário 2 as alternativas de solução são as mesmas, porém os critérios de avaliação serão diferentes. Serão adotadas variáveis exclusivamente de processos de extração com o objetivo de analisar sob o ponto de vista de desempenho de produção quais espécies irão apresentar melhor eficiência em seus processos. O importante nesta fase de simulação é verificar se existe inconsistências nos dados que possam apontar resultados muito fora do esperado que possam prejudicar a avaliação do decisor. Mas sempre lembrando que tanto os dados como resultado dependem da confiabilidade da fonte de onde foram obtidos.

Cenário 2:

- **Alternativas de solução**

A1 Pimenta longa (*Piper hispidinervum*).

A2 Citronela (*Cymbopogon winterianus*).

A3 Capim-limão (*Cymbopogon citratus*).

- **Critérios de avaliação**

C1 Tempo de Extração (min).

C2 Capacidade Produtiva (L).

C3 Densidade (mL).

C4 Massa (kg).

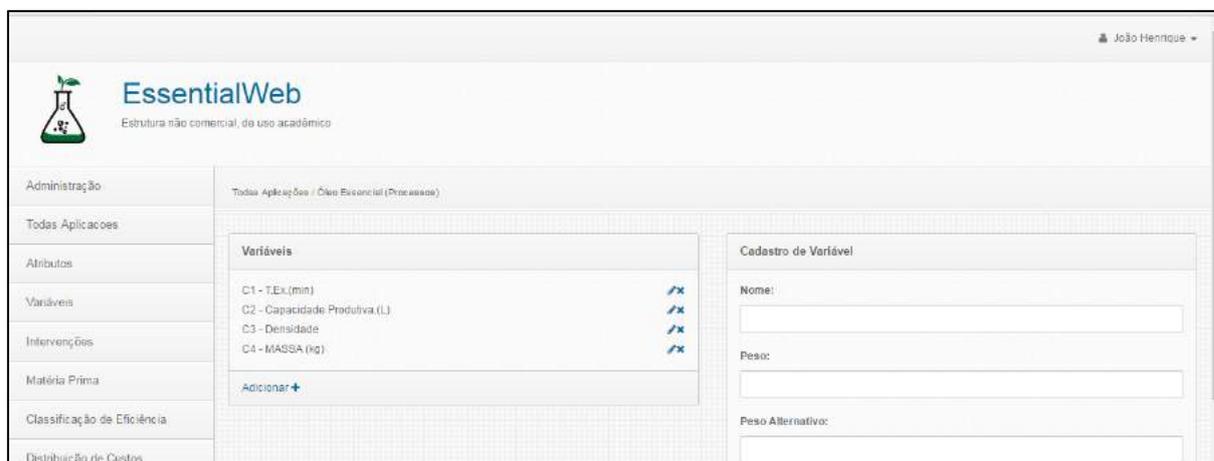
No Quadro 5.19 é e Figura 5.21 são apresentados respectivamente a composição da matriz de avaliação e a tela estruturação das variáveis no sistema somente com variáveis de processo.

Quadro 5.19 - Matriz de Avaliação (Medidas das Variáveis Cenário 2).

Critério	Peso	Alternativas de solução			Melhor	Pior
		A1	A2	A3		
C1	9	75	80	80	80	75
C2	10	4	4	12	12	4
C3	7	1.25	1.30	1.7	1.25	1.7
C4	8	240	500	500	240	500

Fonte: O autor (2016).

Figura 5.21- Estruturação das variáveis e pesos do Cenário 2.



Fonte: O autor (2016).

No Quadro 5.20 e Figura 5.22 são apresentados os resultados da simulação do cenário 2.

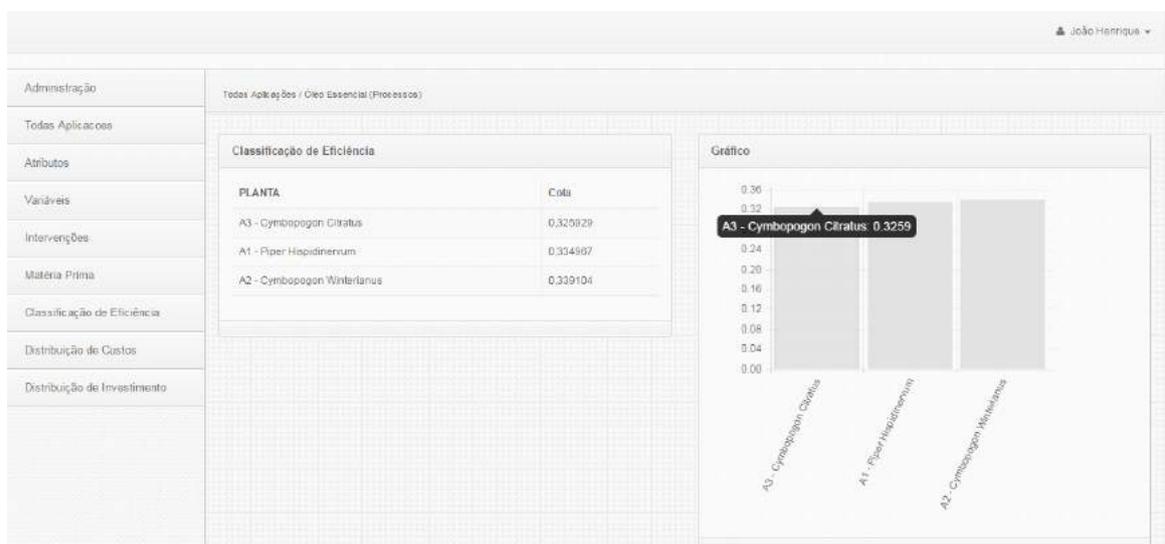
Quadro 5.20 – Classificação das Cotas de Eficiência (cenário 2)

	Alternativa de solução	Cota
<b>1º</b>	<b>A3 Capim limão</b>	<b>0,325929</b>
2º	A1 Pimenta longa	0,334967
3º	A2 Citronela	0,339104
	Soma	1,000000

Fonte: O autor (2016).

As cotas de eficiência fornecem informações importantes referente ao processo de produção que ora podem nortear a calibragem de determinado processo visando sua otimização ou ratificar que toda cadeia de produção possui resultados favoráveis. Observa-se neste caso em particular os valores das cotas de eficiência muito próximos, podem ser interpretados como um possível equilíbrio no processo de produção. É obvio que a tomada de decisão envolve outras variáveis importantes num processo de produção, que em separado podem não representar em definitivo determinado processo, é necessário a combinação de informação, bem como executar novas simulações visando dar maior confiabilidade a tomada de decisão.

Figura 5.22- Tela de classificação do ranking de eficiência (matéria prima) Cenário 2.



Fonte: O autor (2016).

O Cenário 2 apresentou a espécie de planta capim-limão e pimenta longa praticamente empatadas com uma leve vantagem de capim-limão, sendo a mais eficiente em seus processos de produção com uma cota de 32,59% (0,3259), enquanto que a cota para a pimenta longa foi de 33,50 % (0,3349). A citronela, seguindo este cenário, obteve uma cota de 33,91% (0,3391).

Ambos os cenários apresentaram resultados e indicativos importantes referentes aos aspectos propostos pela simulação, os exemplos apresentados podem ainda ser incrementados com maior número de variáveis e espécies de plantas, o sistema foi projetado para atender problemas que envolvam uma quantidade expressiva de dados. Cabe reforçar o alerta que variáveis econômicas, financeiras e de produção precisam ser bem avaliadas quando simuladas juntas (em conjunto).

Existem espécies de plantas que devido a sua demanda e preços de mercado são sensivelmente mais favoráveis, induzindo que seu valor seja atribuído erroneamente na matriz de avaliação, e influenciar a geração de medidas muito eficientes em relação a outras espécies com valores de mercado pouco atrativas. Desta forma sempre será necessário o olhar técnico e analítico do decisor, tendo a visão e o domínio do contexto ao qual estará aplicando das citadas variáveis, verificando a além do perfil de cada espécie, uma confiável base de dados para que o processo de análise e tomada de decisão sejam o mais assertivo possível.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho desenvolveu alternativas de melhorias no processo de produção de óleos essenciais aplicando técnicas e métodos de Pesquisa Operacional, um ramo interdisciplinar da matemática aplicada, que faz uso de modelos matemáticos, estatísticos e de algoritmos na ajuda à tomada de decisão. Os dados analisados ao longo deste estudo seguiram uma inovadora metodologia combinada de programação linear, processo analítico hierárquico AHP e Programação de Compromisso com a utilização de planilhas eletrônicas e de software específico desenvolvido para validar a metodologia proposta. A pesquisa foi efetuada para apurar indicativos econômicos financeiros via software para simulação de processos industriais vinculados à extração por arraste a vapor, importante método de extração de óleos essenciais que por sua facilidade e custo viabiliza economicamente este mercado promissor, embora ainda carente de estudos e pesquisas que possam melhorar ainda mais o desempenho do País tanto no cenário nacional como internacional.

Foi identificado através da metodologia uma resposta satisfatória no sentido de maximização do lucro da espécie de "*Piper hispidinervum*" que percebia a receita de vendas no valor de R\$ 226.226,88 e passou para R\$ 233.012,74, com um incremento percentual de 2,9% referente à margem de lucro. O preço estimado para 1 litro de óleo essencial de pimenta longa foi estimado em R\$ 214,32 (duzentos e quatorze reais e trinta e dois centavos) e a referência de preço de litro de hidrolato foi de R\$ 32,13 (20% do valor de venda de óleo essencial de pimenta longa).

Os cenários de tomada de decisão com a utilização do sistema **EssentialWeb** trouxeram um aditivo particular de análise no tratamento dos resultados obtidos entre as espécies vegetais de Pimenta longa, Citronela e Capim-limão, possibilitando comparar estas espécies em dois aspectos importantíssimos: desempenho econômico e processos de produção.

A comparação com variáveis econômicas mostrou um desempenho econômico financeiro maior do óleo essencial de **citronela** com a cota de eficiência de **28,50% (0,2850)**, na segunda posição ficou pimenta longa 31,12 % (0,3112) e em terceiro Capim-limão com 40,37% (0,4037). A abordagem referente às variáveis de processos de produção indicou a espécie de **Capim-limão** sendo a mais eficiente com uma cota de **32,59% (0,3259)**, seguida de Pimenta longa 33,50 % (0,3349) e Citronela de 33,91% (0,3391) na última posição.

Com relação à simulação de processo de produção houve um empate técnico para todas espécies vegetais estudados, pois possuem resultados ou níveis de produção parecidos. No entanto, em relação aos aspectos econômicos financeiros as espécies de **Pimenta longa e Capim-limão** precisam melhorar sua eficiência em relação à espécie de **Citronela**.

É importante frisar a importância de analisar muito bem os cenários os quais estão inseridos os processos de produção, principalmente relacionado a variáveis econômicas e de processo que podem apresentar falsos resultados, devido em especial ao valor de mercado de determinada matéria prima, que poderá mascarar o processo de ineficiência ou eficiência de produção em determinadas simulações.

Com o desenvolvimento desta pesquisa ocupou-se um espaço interessante onde se combinou os processos de extração tradicionais com softwares voltados à melhoria de desempenho no tocante à maximização de resultados tanto econômicos como de produção. Em outras palavras, metodologias já disponíveis que auxiliem os decisores a tomarem decisões econômicas mais assertivas, baseadas não somente na tradição e costumes (empirismo), mas sim com a técnica e a ciência dos pesquisadores combinada à experiência dos pequenos e médios produtores.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALICE, WEB. Disponível em < <http://aliceweb2.mdic.gov.br/>>. Acesso em: 22. jan. 2016.

BAIN E COMPANY. Potencial de diversificação da indústria química Brasileira. Relatório 4 – Aromas, Sabores e Fragrâncias. BNDES/FEP/Prospecção. 2014. Disponível em: [http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/produtos/download/aep\\_fep/chamada\\_publica\\_FEPprospec0311\\_Quimicos\\_Relat4\\_aromas.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/produtos/download/aep_fep/chamada_publica_FEPprospec0311_Quimicos_Relat4_aromas.pdf) >. Acesso em: 30 mar. 2016.

BARRADAS, S.; PESSOA, T.; LIMA, L.; TABET, B.; MARUJO, L. Simulação com otimização de uma rede de telecomunicações de acesso a internet banda larga. XLII SBPO, Anais..., Bento Gonçalves – RS, 2010.

BATISTELLA, E. Destilação por arraste a vapor. Curso de Engenharia de Produção. UNIDAVI - Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí – SC. 2012.

BAUSCH, Julia C.; BOJÓRQUEZ-TAPIA, Luis; EAKIN, Hallie. Agro-environmental sustainability assessment using multicriteria decision analysis and system analysis. Sustainability science, v. 9, n. 3, p. 303-319, 2014.

BIZZO, Humberto R.; HOVELL, Ana Maria C.; REZENDE, Claudia M. Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. Química Nova, v. 32, n. 3, p. 588-594, 2009.

BORTOLAIA, Luís Antônio. Modelagem matemática e simulação do processo de secagem artificial de grãos de soja em secadores de fluxo contínuo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul Tese de Doutorado. 2012.

BROSSIER, Jacques et al. Recherches en gestion: vers une theorie de la gestion de l'exploitation agricole. In: Seminaire du Departement de Recherches sur les Systemes Agraires et le Developpement (SAD). Saint Maximin (France). 2-3 Mar 1989. 1990.

CAIXETA-FILHO, J.V. Pesquisa Operacional: técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais. 2. Ed. São Paulo: Editora Atlas S.A, 2004.

CARPINELLI, Guido et al. Exponential weighted method and a compromise programming method for multi-objective operation of plug-in vehicle aggregators in microgrids. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, v. 56, p. 374-384, 2014.

CASSEL, E.; VARGAS, R.M.F. Experiments and modeling of the *Cymbopogon winterianus* essential oil extraction by steam distillation. *Revista de la Sociedad Química de México*, v.50, p.126-129, 2006.

CASTRO, Ciro de et al. ANÁLISE ECONÔMICA DO CULTIVO E EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Melaleuca alternifolia* Cheel1. *Revista Árvore*, v. 29, n. 2, p. 241-249, 2005.

CHAVEZ, M. G. C. Hidrodestilacion de aceites esenciales: modelado y caracterizacion. Tese (Doutorado) — Universidad de Valladolid, april 2007.

DELGADO-MATAS, Cristobal; PUKKALA, Timo. Optimisation of the traditional land-use system in the Angolan highlands using linear programming. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, v. 21, n. 2, p. 138-148, 2014.

DOGRA, Pradeep et al. Compromise programming based model for augmenting food production with minimum water allocation in a watershed: a case study in the Indian Himalayas. *Water Resources Management*, v. 28, n. 15, p. 5247-5265, 2014.

FATTAHI, Parviz; FAYYAZ, Saeed. A compromise programming model to integrated urban water management. *Water Resources Management*, v. 24, n. 6, p. 1211-1227, 2010.

FROSSARD, A. C. P. Programação Linear: Maximização de Lucro e Minimização de Custos. Revista Científica da Faculdade Lourenço Filho - v.6, n.1, 2009.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. Introdução à pesquisa operacional. McGraw Hill, 2010.

LABIB, Ashraf et al. Formulation of higher education institutional strategy using operational research approaches. Studies in Higher Education, v. 39, n. 5, p. 885-904, 2014.

LEAL, P. F. Estudo comparativo entre os custos de manufatura e as propriedades funcionais de óleos voláteis obtidos por extração supercrítica e destilação por arraste a vapor. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual de Campinas, fevereiro 2008.

LI, Rongrong et al. An adaptive compromise programming method for multi-objective path optimization. Journal of Geographical Systems, v. 15, n. 2, p. 211-228, 2013.

MARION, José Carlos. **Contabilidade rural**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

OLISZESKI, Carlos Alessandro Neiverth. Modelos de Planejamento Agrícola: Um Cenário Para Otimização de Processos Agroindustriais. Universidade tecnológica federal do Paraná Programa de pós-graduação em engenharia de produção Mestrado em Engenharia de Produção. Ponta Grossa-PR. 2011.

PIMENTEL, F. A. 2001. Viabilidade financeira da extração da pimenta longa em sistemas de cultivo racional e extrativismo no Acre. Rio Branco: EMBRAPA - ACRE. Disponível em: < <http://iquiri.cpaufac.embrapa.br/>>. Acesso em: 15 dez. 2015.

PIRES, R. J. D. B., ALLEMAN, L. E. Pimenta longa como nova alternativa de cultivo para pequenos produtores rurais. EMBRAPA. 2015.

PLÀ, Lluís M.; SANDARS, Daniel L.; HIGGINS, Andrew J. A perspective on operational research prospects for agriculture. Journal of the Operational Research Society, v. 65, n. 7, p. 1078-1089, 2013.

POURGHASEMI, Hamid Reza; PRADHAN, Biswajeet; GOKCEOGLU, Candan. Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. *Natural hazards*, v. 63, n. 2, p. 965-996, 2012.

REIS, Marcelo Teixeira dos et al. Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica Para Uma Indústria de Produção de Óleo Essencial. Avaliação Econômica de Projetos do Curso de Engenharia Química da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. PUCRS. 2010. 81p.

REN, Jingzheng et al. Life cycle cost optimization of biofuel supply chains under uncertainties based on interval linear programming. *Bioresource technology*, v. 187, p. 6-13, 2015.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

SAATY, T. L. Método de Análise Hierárquica, Tradução e Revisão por Wainer da Silveira e Silva. São Paulo: McGraw-Hill, 1991.

SAATY, T. L. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocation. New York: McGraw-Hill, 1980.

SEBRAE NACIONAL. Boas práticas para a sua empresa produzir mais e melhor. Disponível em: < <http://www.sebrae.com.br/>>. Acesso em: 06 mai 2016.

SHANEB, O. A.; TAYLOR, P. C.; COATES, G. Optimal online operation of residential  $\mu$ CHP systems using linear programming. *Energy and Buildings*, v. 44, p. 17-25, 2012.

SHAW, Krishnendu et al. Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain. *Expert systems with applications*, v. 39, n. 9, p. 8182-8192, 2012.

SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, E. P.; GOSMAN, G. ;MELLO, J. C. P.;MENTZ,L. A; PETROVICK, P. R. (Org.). Farmacognosia: da Planta ao Medicamento, 1ª Edição, Porto Alegre/Florianópolis: Editora UFRGS/Editora UFSC, 1999.

SOTO-SILVA, Wladimir E. et al. Operational research models applied to the fresh fruit supply chain. *European Journal of Operational Research*, v. 251, n. 2, p. 345-355, 2016.

SOUZA, J. S. Proposta de uma sistemática para análise multicriterial de investimentos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Escola de Engenharia Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção 2008.

SILVA, Ermes Medeiros da et al. Pesquisa operacional: para os cursos de administração e engenharia: programação linear, simulação. São Paulo: Atlas, 2010.

STEFFENS, Andréia Hoeltz et al. Estudo da composição química dos óleos essenciais obtidos por destilação por arraste a vapor em escala laboratorial e industrial. Dissertação - PGETEMA. PUCRS. 2010.

TANURE, S.; MACHADO, JAD; NABINGER, C. Técnica de gerenciamento e suporte a decisão em unidade de produção agropecuária. REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, v. 47, 2009.

VALLE, Fabio Dalla et al. Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica Para Uma Indústria Produtora de Óleo Essencial De Capim Limão. Avaliação Econômica de Projetos do Curso de Engenharia Química da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. PUCRS. 2014. 76p.

YIN, Robert. Estudo de caso: planejamento e métodos. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ZELELY, M. Multiple Criteria Decision-Making. New York: McGraw-Hill, 1982.

ZELENY, M., Compromise programming, en MCDM (Cochrane-zelenyeds.) USC: 373-391, 1973.

ZELNY, Milan. Linear multiobjective programming. Springer Science & Business Media, 2012.

ZHANG, Hui et al. A mixed-integer linear programming approach for multi-stage security-constrained transmission expansion planning. IEEE Transactions on Power Systems, v. 27, n. 2, p. 1125-1133, 2012.

## **ANEXOS**

ORÇAMENTOS ENVIADOS PELAS EMPRESAS:

LINAX DESTILADORES E ÓLEOS ESSENCIAIS LTDA

MARCONI EQUIP. P/ LAB. LTDA

TARIFAS E CUSTOS DE SERVIÇOS (CEEE)

DADOS ADICIONAIS DE PRODUÇÃO DE CULTIVO DE PIMENTA LONGA

**D200- DESTILADOR DE ARRASTE DE VAPOR INDUSTRIAL***Destilaria D200*

Destilaria completa com 2 domas de 100kg cada, alimentada por caldeira à lenha de capacidade 150KVH.

O equipamento é fornecido já montado, bastando realizar as conexões hidráulicas no local para entrar em operação.

O local de instalação deverá contar com um contrapiso para a caldeira e destilaria. Para a operação será necessário um barracão para abrigar o equipamento e cerca de 2000L/hora de água para refrigeração e caldeira, que poderá ser de rio, poço, etc.

A água poderá ser reaproveitada, pois a maior parte será usada somente para refrigeração. A caldeira conta com injetor próprio que utiliza o próprio vapor para carregamento, sem necessidade de energia elétrica para operar.

Valor : R\$36.000,00 sem caldeira. A caldeira é cotada à parte. Frete à contratar.

O valor isolado da caldeira é em torno de R\$25mil reais. A caldeira adequada pode ser adquirida diretamente pelo cliente com orientação da Linax.

Validade deste orçamento 30 dias. Entrega do equipamento 60 dias.

Condições de pagamento: 50% no pedido. O restante na entrega do equipamento.



MARCONI EQUIP. P/ LAB. LTDA  
RUA RAFAEL DUCATTI, 260 - ALGODOAL  
PIRACICABA - SP CEP: 13405455  
Tel: 19 3412-1010 Fax: 19 3412-1010

**MARCONI EQUIP. P/ LAB. LTDA**

**CNPJ: 45.517.463/0001.63 I.E.: 535.060.290.115**

CLIENTE: 008512 SAPIENS CONSULTORIA E SERVICOS EM TECNOLOGIA DA II  
SAPIENSTEK/PORTO ALEGRE  
ENDEREÇOR GUAICURU, 50 BAIRRO: ASSUNCAO CEP: 91.900-430  
CIDADE: PORTO ALEGRE ESTADO: RS SEGTO: PESQUISAS  
CNPJ/CPF: 16.466.209/0001-85 I. E./R.G.: 43207194497

**COTAÇÃO**  
**Nº. 23.548**  
Data: 01/04/2016

Comprador: JOAO HENRIQUE SILVA

TELEFONE 51 91245278

E-MAIL: jhs@sapienslek.com

END. ENTREGA:

END. COBRANÇA:

Região: SUL

Frete por Conta: Destinatário

Item	Código	Descrição	QTDE	UNID	PR.UNIT. R\$	Total	PESO (kg)
* 01	000728	DESTILADOR PARA OLEOS ESSENCIAIS Ref.: MA480	1,000	UN	13.991,1660	13.991,17	50,000
NCM: 84.19.40.20		Vr. IPI: 0,00					
<b>Comentário:</b>							
Estrutura:							
- construído inteiramente em aço inox AISI 304 18-8							
- caldeira com dreno inferior para limpeza e superior para manutenção do nível, tubo de interligação com o frasco coletor tipo Fiorentino							
- condensador tipo pilsen com conexões de entrada e saída de água, tampa removível para inspeção e limpeza							
- cesto interno para colocação da amostra com capacidade para 10 litros de folhas							
- medidas em mm.: L= 500 x P= 330 x A= 860							
- para instalação em bancada							
- peso: 30 kgs							
Coletores:							
- coletor do óleo em vidro borossilicato, frasco tipo Fiorentino com torneira para descarga do óleo coletado:							
acompanham dois frascos com volumes diferentes para produtos com menor percentagem de óleo							
Termostatização:							
- resistência blindada revestida em aço inox 304, com variador eletrônico de potência e chave geral ligá/desliga							
Energia:							
- cabo de energia trifilar com aterramento, dupla isolamento, tomada e plug de três pinos, NBR NM 243 E NBR 14136							
- 2000 watts, 220 volts, 60 hz.							
OBS.:							
1.- a quantidade de produção está relacionada com a quantidade de óleo de cada material.							
2.- um quilo de folha de eucalipto tem volume de +/- 5,5 litros.							

<b>Condição de Pagamento:</b> A COMBINAR 1 PARCELA - ATRAVES DE BOLETO	Total (KG): 50,000 PEDIDO SUJEITO A CONFIRMAÇÃO
Dias Adicionais: 0	Vendedor: DEPTO. COMERCIAL Operador: FERNANDA ANDREOTTA

	(+) Outras Despesas:	R\$	0,00
	(+) Produtos:	R\$	13.991,17
	(+) IPI:	R\$	0,00
	(+) ICMS ST:	R\$	0,00
	(+) Frete:	R\$	0,00
	(-) Desconto:	R\$	0,00
	(=) Total:	R\$	13.991,17

## TARIFAS E CUSTOS DE SERVIÇOS

Vigentes a partir de 02/03/2015, conforme Resolução Homologatória ANEEL nº 1.858, de 27/02/2015



### Tabela de Tarifas de Energia Elétrica Baixa Tensão - em R\$/kWh sem impostos

Classe	Valor do kWh Bandeira VERDE	Valor do kWh Bandeira AMARELA	Valor do kWh Bandeira VERMELHA	Alíquota ICMS
Residencial Convencional	0,456620	0,481620	0,511620	Até 50 kWh
Residencial Baixa Renda até 30 kWh	0,157553	0,166303	0,176802	12%
Residencial Baixa Renda 31-100 kWh	0,270090	0,285090	0,303090	Acima de 50 kWh
Residencial Baixa Renda 101-220 kWh	0,405135	0,427635	0,454635	
Residencial Baixa Renda Acima de 220 kWh	0,450150	0,475150	0,505150	25%
Industrial - Reconhecido pela SEFAZ-RS	0,456620	0,481620	0,511620	17%
Industrial				
Comercial				
Poder Público				
Rural Sem CPR	0,319630	0,344630	0,374630	25%
Rural Com CPR				
Iluminação Pública	0,251140	0,276140	0,306140	20%
Serviço Público	0,388127	0,413127	0,443127	25%

O acionamento das Bandeiras Tarifárias é realizado dentro do mês civil de acordo com a divulgação da ANEEL a partir de janeiro 2015. A aplicação do adicional é apresentada de forma proporcional de acordo com a data de início e fim do ciclo de faturamento.

Os preços dispostos na tabela acima apresentam os valores da TUSD e TE somados.

### Composição do Preço a ser Aplicado

$$\text{Preço Final} = \frac{\text{Preço Homologado}}{(1 - \text{PIS}(\%) - \text{COFINS}(\%) - \text{ICMS}(\%))}$$

As alíquotas de PIS e COFINS têm variação mensal. Estas podem ser consultadas no site [www.cee.com.br](http://www.cee.com.br)

### Custo de Disponibilidade do Sistema Elétrico para o Grupo B

Monofásico	Bifásico	Trifásico
30 kWh	50 kWh	100 kWh

Mínimos Faturáveis

Valor de referência para faturamento da energia reativa excedente em R\$/kWh	0,240350
--	----------

Conforme Art. 97 da REN ANEEL 414/2010

### Custos de serviços - em R\$

Serviços Cobráveis (Artigos 102, 103 e 131 REN ANEEL 414/2010)	BT Monofásico	BT Bifásico	BT Trifásico	AT Grupo A
Vistoria de unidade consumidora	5,38	7,70	15,41	46,27
Aferição de medidor	6,94	11,56	15,41	77,13
Verificação de nível de tensão	6,94	11,56	13,88	77,13
Religação normal	6,15	8,47	25,43	77,13
Religação normal - DJ	1,84	2,54	7,62	23,13
Religação de urgência	30,84	46,27	77,13	154,27
Religação de urgência - DJ	9,25	13,88	23,13	46,28
Segunda via de fatura	2,30	2,30	2,30	4,62
Segunda via declaração de quitação anual	2,30	2,30	2,30	4,62
Disponibilização dados de medição	5,38	7,70	15,41	46,27
Desligamento programada	30,84	46,27	77,13	154,27
Religação programada	30,84	46,27	77,13	154,27
Fornecimento pulsos potência e sincronismo	5,38	7,70	15,41	46,27
Comissionamento de obra	16,15	23,11	46,22	138,81
Visita técnica	5,38	7,70	15,41	46,27
Custo administrativo de inspeção	88,76	133,15	221,99	2.959,55
Custo administrativo de inspeção - DJ	44,38	66,57	110,99	1.479,77



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro de Pesquisa Agroflorestal do Acre  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

ISSN 1679-1134

Dezembro, 2002

## ***Sistemas de Produção 1***

### **Cultivo da Pimenta Longa (*Piper hispidinervum*) na Amazônia Ocidental**

Maria de Jesus Barbosa Cavalcante  
Editor técnico

Rio Branco, AC  
2002

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Acre**

Rodovia BR 364, km 14, sentido Rio Branco/Porto Velho  
Caixa Postal, 321  
Rio Branco, AC, CEP 69908-970  
Fone: (68) 212-3200  
Fax: (68) 212-3284  
<http://www.cpafac.embrapa.br>  
[sac@cpafac.embrapa.br](mailto:sac@cpafac.embrapa.br)

**Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: *Murilo Fazolin*  
Secretária-Executiva: *Suely Moreira de Melo*

Membros: *Celso Luís Bergo, Claudenor Pinho de Sá, Cleisa Brasil da Cunha Cartaxo, Elias Melo de Miranda\*, Flávio Araújo Pimentel, Hélia Alves de Mendonça, João Alencar de Sousa, Jonny Everson Scherwinski Pereira, José Tadeu de Souza Marinho, Judson Ferreira Valentim, Lúcia Helena de Oliveira Wadt, Luís Cláudio de Oliveira\*, Marcílio José Thomazini, Maria de Jesus Barbosa Cavalcante, Patrícia Maria Drumond*  
\*Revisores deste trabalho

Supervisão editorial: *Claudia Carvalho Sena / Suely Moreira de Melo*  
Revisão de texto: *Claudia Carvalho Sena / Suely Moreira de Melo*  
Normalização bibliográfica: *Luiza de Marillac Pompeu Braga Gonçalves*  
Tratamento de ilustrações: *Fernando Farias Sevá*  
Editoração eletrônica: *Fernando Farias Sevá*

**1ª edição**

1ª impressão (2002): 300 exemplares

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).**

Embrapa Acre.

C376c Cavalcante, Maria de Jesus Barbosa, Ed.  
Cultivo da pimenta longa (*Piper hispidinervum*) na Amazônia Ocidental /  
Maria de Jesus Barbosa Cavalcante. Rio Branco: Embrapa Acre, 2002.  
29 p. – (Embrapa Acre. Sistemas de Produção, 1).

ISSN 1679-1134

1. Pimenta longa. 2. *Piper hispidinervum*. I. Título.

CDD 633.85 (19. ed.)

© Embrapa 2002

## **Autores**

### **Celso Luís Bergo**

Eng. agrôn., M.Sc., Embrapa Acre, Caixa Postal 321, 69908-970, Rio Branco, AC, [celso@cpafac.embrapa.br](mailto:celso@cpafac.embrapa.br)

### **Claudenor Pinho de Sá**

Eng. agrôn., M.Sc., Embrapa Acre, [claudenor@cpafac.embrapa.br](mailto:claudenor@cpafac.embrapa.br)

### **Flávio Araújo Pimentel**

Eng. agrôn., M.Sc., Embrapa Acre, [flavio@cpafac.embrapa.br](mailto:flavio@cpafac.embrapa.br)

### **Hélia Alves de Mendonça**

Eng. agrôn., D.Sc., Embrapa Acre, [helia@cpafac.embrapa.br](mailto:helia@cpafac.embrapa.br)

### **João Alencar de Sousa**

Eng. agrôn., D.Sc., Embrapa Acre, [alencar@cpafac.embrapa.br](mailto:alencar@cpafac.embrapa.br)

### **Lúcia Helena de Oliveira Wadt**

Eng. ftal., D.Sc., Embrapa Acre, [lucia@cpafac.embrapa.br](mailto:lucia@cpafac.embrapa.br)

### **Marcílio José Thomazini**

Eng. agrôn., D.Sc., Embrapa Acre,  
[marcilio@cpafac.embrapa.br](mailto:marcilio@cpafac.embrapa.br)

### **Maria de Jesus Barbosa Cavalcante**

Eng. agrôn., M.Sc., Embrapa Acre, [maju@cpafac.embrapa.br](mailto:maju@cpafac.embrapa.br)

## **Apresentação**

A partir da década de 70, a pimenta longa (*Piper hispidinervum*) foi inicialmente estudada por pesquisadores do Inpa e Museu Emílio Goeldi, destacando-se como uma espécie rica em óleos essenciais apresentando um rendimento médio de 3,5% e teores de safrol entre 88% e 95%.

Nesse aspecto, a Embrapa Acre desenvolveu pesquisas fitotécnicas e agroindustriais com associações de produtores, visando ao plantio em escala comercial e beneficiamento dessa Piperaceae, presente naturalmente em capoeiras, pastagens e roçados na Amazônia Ocidental.

Espera-se que as informações a seguir apresentadas possam proporcionar subsídios para a elaboração de programas, projetos de pesquisa e desenvolvimento, assistência técnica, extensão rural e agroindústrias que tenham como objetivo o desenvolvimento sustentável, principalmente, da produção familiar.

*Ivandir Soares Campos*  
Chefe-Geral da Embrapa Acre

## Sumário

<b>Importância Econômica</b> .....	9
<b>Clima</b> .....	10
<b>Solos</b> .....	11
<b>Adubação</b> .....	11
<b>Cultivares</b> .....	12
<b>Produção e Obtenção de Mudanças ou Sementes</b> .....	12
<b>Plantio</b> .....	14
<b>Tratos Culturais</b> .....	16
<b>Manejo de Plantas Daninhas</b> .....	16
<b>Doenças e Métodos de Controle</b> .....	16
<b>Pragas e Métodos de Controle</b> .....	19
<b>Colheita e Pós-colheita</b> .....	21
<b>Mercado e Comercialização</b> .....	23
<b>Coeficientes Técnicos, Custos, Rendimentos e Rentabilidade</b> .....	24
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	27

## **Cultivo da Pimenta Longa (*Piper hispidinervum*) na Amazônia Ocidental**

---

*Celso Luís Bergo*  
*Claudenor Pinho de Sá*  
*Flávio Araújo Pimentel*  
*Hélia Alves de Mendonça*  
*João Alencar de Sousa*  
*Lúcia Helena de Oliveira Wadt*  
*Marcílio José Thomazini*  
*Maria de Jesus Barbosa Cavalcante*

### **Importância Econômica**

Os recursos naturais existentes na Região Amazônica tornam-se conhecidos, gradativamente, à medida que a pesquisa científica se intensifica e os resultados são disponibilizados para a sociedade. O aproveitamento da flora aromática nativa se insere nesse contexto, apesar de poucos produtos fazerem parte da pauta comercial de exportação, como é o caso do óleo essencial de pau-rosa (*Aniba duckei* e *A. rosaeodora*) e o óleo-resina de copaíba (*Copaifera duckei*, *C. reticulata* e *C. multijuga*). O elevado potencial da flora odorífera da região apresenta-se como a fonte renovável mais apropriada para a produção de essências aromáticas. Para isso, é necessário promover a domesticação das espécies identificadas como promissoras, para cultivos sustentáveis sob o ponto de vista econômico, social e ambiental.

Trabalhos desenvolvidos, a partir da década de 70, por pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa) e do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), resultaram em um amplo inventário das plantas aromáticas da Amazônia, em que estão relacionadas algumas espécies de *Piper* (família Piperaceae) ricas em óleos essenciais. Entre elas, destaca-se a pimenta longa (*Piper hispidinervum*), com característica de

planta invasora, que produz óleo essencial com rendimento médio de 3,5% e teores de safrol entre 88% e 95%.

Trabalhos desenvolvidos a partir de 1995, por pesquisadores da Embrapa, resultaram em um sistema de produção agroindustrial dentro do enfoque de P&D, condizente com a agricultura familiar preponderante nesta região. Os conhecimentos, as práticas e processos desenvolvidos vêm agregando valor a esse recurso natural amazônico, com inserção no mercado, e tornando-o uma fonte alternativa de renda e emprego para os produtores organizados em pequenas associações do meio rural, principalmente, nos Estados do Acre e Rondônia.

### Clima

O Acre, no extremo ocidental da Amazônia brasileira, tem como principal característica a diminuição progressiva da intensidade do período seco no sentido SE/NW, com três meses secos no setor SE e menos de um mês no N/W (Mesquita, 1996).

É digno de nota o fenômeno conhecido na Amazônia pela denominação de "friagem", que atinge a área como resultado do avanço da frente polar, impulsionada pela massa de ar polar, provocando brusca queda de temperatura, cuja mínima é em torno de 10°C (Ribeiro, 1971).

A espécie *Piper hispidinervum* ocorre preferencialmente no tipo climático Awi podendo ser encontrada também no tipo Ami, ambos caracterizados por elevado índice pluviométrico anual e nítido período seco, com o Awi apresentando período seco superior a dois meses consecutivos e índice pluviométrico inferior a 60 mm em pelo menos um mês (Mesquita, 1996). A temperatura média anual está em torno de 24,5°C, com máxima de 32°C e mínima de 18°C. A umidade relativa do ar apresenta elevados níveis durante todo o ano, com médias normais em torno de 80%-90% (Mesquita, 1996).

### Solos

Os solos das áreas de ocorrência natural de *Piper hispidinervum* são caracterizados como Podzólico Vermelho-Amarelo álico, de textura argilosa, pouco compactado, com pH variando de 4,8 a 7,1 (Cordeiro et al., 1999).

Para o plantio comercial, recomendam-se solos de textura areno-argilosa, profundos, bem drenados e de boa fertilidade natural. Devem apresentar também pequena declividade em local com boa insolação (Pimentel et al., 1998).

### Adubação

A pimenta longa é uma planta que se adapta bem tanto em solos ácidos como ligeiramente básicos, porém, tem-se obtido maiores produtividades de biomassa foliar em áreas onde o pH encontra-se acima de 5,0. Com relação aos macronutrientes, somente o fósforo tem respondido satisfatoriamente no primeiro ano, não se constatando ainda nenhuma correção positiva para os micronutrientes quanto à produção de biomassa foliar e de óleo essencial. Com base nos dados preliminares e visando a adubações econômicas, são recomendadas as seguintes dosagens de nutrientes químicos:

1º ano: deve-se efetuar somente uma adubação na cova, 30 dias antes do plantio com 4 gramas de  $P_2O_5$ .

2º ano em diante: após os cortes da biomassa, aplicar em cobertura 2 gramas de  $P_2O_5$ , 7 gramas de N e 12 gramas de  $K_2O$  por planta.

A prática da cobertura morta é muito importante para manutenção e aproveitamento da umidade do solo, principalmente no período de estiagem, além de fornecer, com sua decomposição, matéria orgânica e nutrientes minerais ao solo.

Recomenda-se, após os cortes, retornar os resíduos da biomassa destilada da pimenta longa para a área original de cultivo. Com isso tem-se uma reposição média de nutrientes da ordem de 82% de N, 86% de  $P_2O_5$  e 94% de  $K_2O$ . Para determinar a quantidade de biomassa a ser adicionada por planta deve-se dividir a produção total da biomassa destilada por hectare, em quilograma, pelo número de plantas que originou essa biomassa.

### **Cultivares**

A Embrapa Acre possui um programa de melhoramento genético da pimenta longa (*Piper hispidinervum*), que tem como objetivo o desenvolvimento de variedades que possuam características agrônomicas e industriais desejáveis para a produção de óleo essencial, com alto teor de safrol (mínimo de 90%, exigido pela indústria). Até o presente momento, foram realizadas coletas de material genético representativo de populações naturais e instalados experimentos de testes de progênies e famílias de meios-irmãos, visando selecionar famílias e/ou indivíduos promissores para o desenvolvimento de variedades.

Devido à demanda por sementes de pimenta longa com as qualidades supracitadas, a Embrapa Acre implantou um campo de produção de sementes com progênies previamente avaliadas e selecionadas quanto ao teor de safrol presente no óleo essencial. Tais progênies possuem teor de safrol acima de 90% no óleo essencial, de forma que os novos plantios comerciais produzam óleo essencial com o teor de safrol mínimo exigido pela indústria.

### **Produção e Obtenção de Mudanças ou Sementes**

Recomenda-se a utilização de sementes selecionadas da espécie *Piper hispidinervum* a partir de plantas matrizes, contendo mais de 90% de safrol no óleo essencial (extraído das folhas e ramos secundários da planta) e isentas do ataque de pragas e doenças.

A colheita de sementes deve ser realizada de novembro a abril, retirando-se manualmente as espiguetas, época em que estas apresentam sementes com coloração preta.

Após a colheita, as espiguetas são mergulhadas por 24 horas em um recipiente com água. Decorrido esse tempo, faz-se a maceração em peneira de polietileno de malha fina, seguida de sucessivas lavagens até as sementes ficarem bem limpas, submetendo-as, em seguida, à secagem, sobre papel jornal, em local sombreado e ventilado, durante 3 dias. As sementes devem ser acondicionadas em sacos plásticos e conservadas em geladeira por um período de 25 dias.

### **Enviveiramento**

O preparo das mudas deve ser realizado entre outubro e novembro, em viveiros construídos de madeira, em área plana isenta de encharcamento, no sentido leste-oeste, com cobertura plástica transparente, a uma altura de 2,5 m de pé direito com esteio central de 3,5 m. A produção de mudas para um hectare requer um viveiro de tamanho equivalente a 120 m<sup>2</sup>.

### **Semeadura e Preparo do Substrato**

As mudas de pimenta longa podem ser produzidas de duas maneiras:

a) Em copinhos de plástico de 180 ml, com perfurações na base para drenagem de água de rega ou da chuva. O material para enchimento dos copinhos deve ser constituído de uma mistura de terriço da mata, esterco de gado bem curtido e areia, na proporção de 1:1:1, devidamente peneirada. Os copinhos devem ser dispostos no viveiro, em blocos de 1 metro de largura, distanciados 50 cm no comprimento do viveiro, para facilitar o manuseio.

b) Em bandejas de isopor com 98 células de 7 x 7 cm contendo o mesmo substrato acima citado.

Em ambos os casos, após 2 a 3 dias de irrigação, deve-se efetuar a semeadura direta, colocando-se três a quatro

sementes por copinho ou célula. Proceder a irrigação com pulverizador de 20 litros, evitando encharcamento do substrato. Após a semeadura as sementes deverão ficar protegidas da luz, por uma cobertura feita de material da região (palha de jarina, ouricuri, coqueiro, etc.), a uma altura de 20 cm.

Considerando-se o custo relativo entre bandejas de isopor e copinhos de plástico, recomenda-se o uso de bandejas para produção de mudas de pimenta longa em larga escala comercial em virtude desse recipiente ser reutilizável.

### **Condução do Viveiro**

As mudas devem ser regadas periodicamente, para favorecer o crescimento normal das plantas. Para produção de mudas em bandejas recomenda-se a irrigação controlada por microaspersão. Iniciada a germinação, quando as plântulas atingirem 2 cm de altura, efetuar o desbaste deixando apenas uma planta. As plantas invasoras devem ser retiradas dos recipientes, para que não ocorra competição ou perda de mudas. Recomenda-se retirar gradualmente a cobertura de palha, a fim de que as plantas estejam aclimatadas para ocasião do plantio definitivo. Após 60 dias no viveiro ou quando apresentar 5 cm de altura, a muda deve ser transplantada para o local definitivo.

## **Plantio**

### **Escolha do Local Definitivo para Plantio**

Na escolha da área para implantação da pimenta longa devem-se considerar as seguintes características:

- a) A área não deve ter declividade acima de 30% para facilitar a aplicação dos tratamentos culturais.
- b) Selecionar áreas não encharcadas para evitar o aparecimento de doenças.

c) Evitar o plantio em áreas anteriormente cultivadas com solanáceas (tomate, berinjela, etc.) para evitar o aparecimento de doenças bacterianas.

d) Evitar o plantio em solos de textura arenosa, a fim de reduzir o estresse hídrico durante o período seco e, conseqüentemente, diminuir a produção de óleo essencial, dando preferência a solos de textura média.

e) Facilidade no acesso à área, favorecendo o transporte de mudas para o local definitivo, bem como o da biomassa de pimenta longa para beneficiamento.

### **Preparo da Área**

Recomenda-se o plantio em capoeiras, submetendo-as às operações de broca, derruba, queima e coivara. Nas áreas cujo pH encontra-se inferior a 5,5, recomenda-se a correção do solo, utilizando a incorporação de calcário dolomítico, por meio de aração e gradagem, 2 meses antes do plantio.

Após o preparo do terreno, deve-se iniciar a marcação das covas, que deverão ser alinhadas em nível.

As covas devem ser feitas, no mínimo, 30 dias antes do plantio, com dimensões de 20 x 20 x 20 cm. Após a abertura, misturar o solo com adubos químicos e orgânicos, conforme recomendação, e colocar essa mistura dentro das covas.

O plantio deve ser realizado no período chuvoso, entre novembro e dezembro, no espaçamento de 1 x 1 m, utilizando plantas vigorosas e sem defeitos, colocando-se uma por cova. Deve-se fazê-lo abrindo pequenas covas nas anteriormente preparadas, colocando-se o colo das plantas no nível do solo. Durante a retirada das plantas dos copinhos, evitar a quebra de raízes. A seguir, compactar a terra ao redor da planta, fazendo ligeira pressão de cima para baixo.

### **Replântio**

O replântio é uma operação obrigatória na maioria das plantações de pimenta longa. Deve-se iniciá-lo 20 a 30 dias

após o plantio, substituindo as plantas fracas e mortas por plantas vigorosas.

### Tratos Culturais

Para evitar a concorrência por água e nutrientes, assim como permitir um bom desenvolvimento da planta na primeira fase de crescimento, recomendam-se três capinas/ano (sendo duas antes e uma após o corte). Por ocasião da primeira capina, a utilização de material vegetal decomposto (resíduo da biomassa destilada da pimenta longa, leguminosas, etc.), em cobertura, é imprescindível para evitar a infestação de plantas daninhas, manter a umidade do solo no período de estiagem, assim como melhorar suas características físicas e químicas.

### Manejo de Plantas Daninhas

O desenvolvimento de ervas daninhas deve ser controlado fazendo-se duas a três capinas durante a implantação e uma a duas após a colheita da biomassa de pimenta longa.

### Doenças e Métodos de Controle

#### Murcha-bacteriana

A murcha-bacteriana, recentemente encontrada infectando pimenta longa (*Piper hispidinervum*) (Fig. 1), (Lopes et al., 1997; Poltronieri et al., 1997), é a principal doença vascular de plantas em todo mundo, sendo causada por *Ralstonia solanacearum*, bactéria habitante natural do solo, onde pode sobreviver por mais de 10 anos (Moura & Oliveira, 1996). Ocorre em todas as regiões do Brasil, causando maiores problemas principalmente nas Regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, onde predominam temperaturas e umidades elevadas.

A murcha-bacteriana ataca espécies pertencentes a mais de 50 famílias botânicas, principalmente as solanáceas (Takatsu & Lopes, 1997), além de afetar severamente espécies de outras famílias como a banana, gengibre e amendoim. O patógeno sobrevive também em várias espécies de plantas daninhas sem

expressar nenhum sintoma da doença (Kimura & Do Carmo, 1996). Considerada de controle difícil, pela sua ampla gama de hospedeiras e variabilidade do patógeno, é a doença bacteriana mais estudada em todo o mundo (Takatsu & Lopes, 1997; Lopes & Quezado-Soares, 1997).



**Fig. 1.** Pimenta longa infectada com *Ralstonia solanacearum*, RO, 1999.

### **Controle**

Diante da grande complexidade envolvendo a ecologia da bactéria no solo (Lopes, 1993), o controle da murcha bacteriana é difícil (Takatsu & Lopes, 1997). É impossível falar em controle sem mencionar as práticas de manejo integrado

(French, 1994), principalmente porque o cultivo da pimenta longa é recente, pouco se conhecendo a respeito da interação da planta com o patógeno.

Algumas medidas de controle são mencionadas abaixo como forma de reduzir a incidência da murcha-bacteriana em pimenta longa.

#### Escolha da Área de Plantio

- Utilizar área livre da doença, sem histórico de plantio de espécies suscetíveis que tenham sido atacadas (solanáceas por exemplo), de preferência áreas que tenham sido cultivadas anteriormente com gramíneas.
- Evitar o plantio em locais conhecidamente infestados ou que recebam água escoada de terrenos contaminados.
- Utilizar solos que tenham boa drenagem e não sejam sujeitos ao encharcamento.

#### Variedades Resistentes

- A pimenta longa está sendo cultivada recentemente e por isso ainda não há informações sobre cultivares resistentes à doença. Entretanto, existem alguns trabalhos de pesquisa avaliando as populações de pimenta longa quanto à resistência à murcha-bacteriana.

#### Manejo da Água

- Se utilizar o cultivo irrigado, evitar o excesso de água.

#### Erradicação

- Retirar a planta inteira do campo em saco de plástico, para não espalhar solo infestado para outras partes do campo.
- Cobrir o local com uma pá de cal virgem.

### Desinfestação do Material Utilizado nos Tratos Culturais

- As ferramentas de corte (terçado e roçadeira) e enxadas devem ser tratadas com hipoclorito de sódio a 2%.

### Controle Químico

- Após o corte das plantas, pulverizar com fungicidas à base de cobre para evitar a entrada de outros microorganismos que possam causar doença.

Identificaram-se outras doenças consideradas secundárias, atacando pimenta longa, sem causar maiores danos até o momento: cercosporiose (*Cercospora piperis*), podridão do colo (*Sclerotium rolfsii*), mela (*Thanatephorus cucumeris*), algas (*Cephaleuros* sp.) e fumagina (*Capnodium*) (Poltronieri et al., 1998).

### Pragas e Métodos de Controle

No viveiro, pode ocorrer o ataque das seguintes pragas em plantas de pimenta longa:

- a) Grilo (Orthoptera, Gryllidae).
- b) Paquinha (Orthoptera, Gryllotalpidae).

Essas pragas cortam as plântulas na região do colo e atacam as raízes, causando amarelecimento, tombamento e morte. Para combatê-las faz-se necessário o acompanhamento diário do viveiro, a fim de que o controle seja feito rapidamente, com a aplicação de iscas preparadas a partir da mistura de farinha de trigo ou farelo de arroz (1.000 g), açúcar (100 g), inseticida à base de trichlorfon, carbaryl ou malathion (100 ml) e água (500 ml), até formar uma massa moldável (Gallo et al., 1988). Recomenda-se distribuir uma isca por copinho, colocando-a em uma distância de 2 cm da plântula. Em caso de bandejas, devem-se distribuir em ziguezague dez iscas distanciadas uniformemente.

Não foi detectada, até o momento, nenhuma espécie de inseto que pudesse constituir-se praga da cultura após plantio. Esporadicamente, detectaram-se alguns desfolhadores como lagartas e besouros da família Chrysomelidae (vaquinhas) danificando folhas da pimenta longa, porém, sem necessidade de controle. Entretanto, em plantios maiores, na região de Vila Extrema/RO, muitas plantas foram atacadas por cupins de solo, na época seca, chegando a reduzir o estande. Esse tipo de inseto, pertencente à família Rhinotermitidae, possui ninhos subterrâneos, ocorre em reboleira e não é específico de pimenta longa, atacando muitas plantas cultivadas e madeiras mortas (Thomazini, 1999).

Não existem, até o momento, agrotóxicos registrados para controle de pragas em pimenta longa. Desse modo, caso algum inseto venha a se constituir praga da cultura, ocorrendo constantemente e causando dano econômico que necessite de controle, devem-se fazer testes para recomendação de algum produto químico ou outros métodos alternativos.

Muitos insetos benéficos foram encontrados em plantios experimentais de pimenta longa, tais como: crisopídeos ou bicho-lixeiro (família Chrysopidae), cujas larvas são predadoras eficientes de pequenas lagartas, ácaros e ovos de insetos; joaninhas (família Coccinellidae), que se alimentam de pulgões e cochonilhas; e vespas (família Vespidae), cujos adultos predam larvas de outros insetos (Thomazini, 1999).

As inflorescências de pimenta longa são visitadas por abelhas durante o ano todo. Cerca de 20 espécies desses polinizadores potenciais já foram relatadas, das quais *Augochlorini* sp. (táxon próximo ao gênero *Pereirapis*), *Pereirapis* sp., *Scaptotrigona* sp.1, *Dialictus* sp., *Scaptotrigona tricolorata* Camargo e *Augochloropsis* sp. foram dominantes. Houve clara preferência das abelhas por visitarem as inflorescências de pimenta longa entre 8h e 9h da manhã (Thomazini & Thomazini, 2002).

### Colheita e Pós-colheita

Quando as plantas atingirem 1 m de diâmetro de copa e altura de 1,70 m, normalmente aos 12 meses após o plantio definitivo, deve-se efetuar o corte a 40 cm do solo, com roçadeira costal motorizada acoplada a um disco de 200 mm de diâmetro por 8" para evitar rachaduras do caule.

A colheita deve ser realizada no período de novembro a março, época das chuvas na região, facilitando o rebrote e renovação das plantas. Ressalta-se que nos meses de março e abril tem-se obtido melhores produtividades com um corte ao ano, embora não seja seguro estender os cortes até o final de abril ou maio, uma vez que, dependendo do ano, poderá faltar água e as plantas podem não rebrotar a contento.

Em avaliações realizadas por 3 anos consecutivos, para determinação da melhor época (mês) e frequência de corte (um ou dois cortes ao ano), observou-se uma pequena superioridade produtiva dos cortes efetuados mais para o final do período chuvoso (Tabela 1).

**Tabela 1.** Dados de produtividade de matéria seca (kg de matéria seca/ha) e óleo (kg de óleo/ha) para um e dois cortes ao ano em função dos meses de sua realização.

Um corte ao ano							
	out.	nov.	dez.	jan.	fev.	mar.	abr.
Matéria seca	2.214	2.615	2.336	2.274	2.430	2.830	3.231
Óleo	71	96	78	76	81	102	123
Dois cortes ao ano							
	out. + fev.		nov. + mar.		dez. + abr.		
Matéria seca	2.895		3.603		3.449		
Óleo	83		105		106		

Quando se comparam os dois resultados observa-se que com dois cortes a produtividade de matéria seca foi maior, mas não há uma correspondência proporcional na produção de óleo; com um corte, mesmo produzindo menos matéria seca, a produtividade de óleo foi maior. Isso ocorreu devido ao maior rendimento percentual de óleo essencial em relação à matéria seca para um corte ao ano que na média geral foi de 3,29% contra 2,79% para dois cortes.

Ressalta-se que essas produtividades poderão ser maiores, uma vez que as plantas do experimento estavam em solos de média a baixa fertilidade e receberam apenas adubação na cova.

### **Secagem**

Dando continuidade à etapa anterior, as plantas inteiras são submetidas à retirada do ramo principal por não conter óleo e, em seguida, as folhas e galhos finos devem ser transportados para o secador. Decorrido o período de 6 a 7 dias de secagem, a biomassa deve ser destilada. O tempo de secagem poderá ser reduzido para 4 dias, caso a usina disponha de um redestilador para concentração de safrol. O princípio da extração de óleo essencial é feito por meio de arraste de vapor de água, utilizando o sistema de caldeira aquecida a lenha. A condensação do óleo essencial é realizada por refrigeração, usando água a mais ou menos 25°C. A infra-estrutura é comunitária, com capacidade de beneficiar 100 ha de pimenta longa, incluindo um destilador, um redestilador de óleo (opcional), grupo gerador a diesel, bomba-d'água elétrica, caixa-d'água (5 mil litros) e um galpão coberto de amianto, sendo utilizado para a secagem do material verde.

### **Beneficiamento**

A extração do óleo essencial é realizada por meio de arraste de vapor de água, utilizando sistema de caldeira acoplada a um extrator, contendo uma base telada para passagem de vapor e uma tampa acoplada sob pressão. A condensação do vapor é feita pela passagem deste por uma serpentina imersa em um tambor contendo água à temperatura de 25°C. A mistura da

água e do óleo essencial com alto teor de safrol é recebida em coletores de decantação para separação de fases por um período de 12 horas. O tempo de destilação é de aproximadamente 4 horas, e este período deve ser controlado em função da pressão do vapor sob a biomassa e da concentração do safrol no óleo essencial. A caldeira e o extrator deverão ser construídos em chapa de aço 1.020 com espessura de ¼ mm, a serpentina deve ser de cobre ou aço inoxidável e os coletores de aço galvanizado ou inoxidável. Durante o beneficiamento, a biomassa contendo entre 20% e 30% de umidade deve ser acondicionada no extrator sob forte compactação e distribuição uniforme, utilizando pisoteio, para evitar a passagem livre de vapor de água, evitando dessa forma reduzir a extração do óleo. Após essa etapa o óleo deve ser filtrado em algodão e armazenado, com no máximo 2% de impurezas, em tambores de aço revestidos com epóxi, para posterior comercialização.

#### **Mercado e Comercialização**

O óleo essencial da pimenta longa contém um componente químico denominado safrol que é empregado pela indústria química como matéria-prima na manufatura de heliotropina, um importante fixador das fragrâncias, e butóxido de piperonila (PBO) usado como agente sinérgico nos inseticidas naturais, como piretrium.

O consumo anual de safrol excede 3 mil toneladas. Esta demanda reprimida era atendida quase que integralmente pelo óleo de sassafrás (*Ocotea pretiosa* Mezz), obtido mediante destilação de material vegetal. Atualmente, as indústrias brasileiras de óleo de sassafrás, situadas no Sul do País, encontram-se desativadas por causa da proibição por parte do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (Ibama), pelo Decreto nº 1.557/91, motivado pelo iminente perigo de extinção de árvores da família Lauraceae, provenientes de florestas virgens que, até então, eram a única fonte de matéria-prima para extração desse produto. Os únicos produtores mundiais de safrol (China e Vietnã), não atendem à demanda de mercado

e, como também realizam o mesmo processo destrutivo para a obtenção desse fenil-éter, os consumidores industriais estão preocupados com a disponibilidade desse componente químico natural em longo prazo. A demanda do óleo de pimenta longa vem elevando-se a cada ano em virtude das restrições estabelecidas pelo Mercado Comum Europeu a importações de produtos obtidos do extrativismo predatório, o que eventualmente não ocorre com essa planta. O mercado exige um óleo com no mínimo 89% de safrol e o preço está oscilando entre 5 e 6 dólares/kg.

#### **Coeficientes Técnicos, Custos, Rendimentos e Rentabilidade**

Na Tabela 2 constam os coeficientes técnicos para implantação, condução e beneficiamento da matéria-prima com o cultivo de 1 hectare de pimenta longa.

Para a avaliação do investimento foram utilizados como indicadores a relação benefício-custo (RBC) e o valor presente líquido (VPL). A RBC permite comprovar a viabilidade do projeto, ao comparar as receitas oriundas desse projeto com o montante de custos e investimentos nele efetuados, ao longo de sua vida útil, enquanto o VPL representa a diferença das receitas com os custos anuais.

**Tabela 2.** Coeficientes técnicos para cultivo de 1 ha de pimenta longa, espaçamento 1 x 1 m, para produção de óleo essencial com o uso da biomassa residual como cobertura morta, Brasiléia, Acre, dez./2002.

Discriminação	un	Anos		
		0	1	Demais anos
<b>1. Preparo da área</b>				
Análise de solo	un	2	-	-
Roçagem manual (broca), aceiro e queima	dh	7	-	-
<b>2. Produção das mudas</b>				
Construção do viveiro	dh	10	-	-
Preparo das mudas	dh	22	-	-
Manutenção das mudas e viveiro	dh	4	-	-
<b>3. Plantio</b>				
Balizamento, coveamento e adubação (fundação)	dh	7	-	-
Distribuição de mudas, plantio	dh	10	-	-
Replântio	dh	-	2	-
<b>4. Tratos culturais</b>				
Capina manual	dh	-	14	-
Capina motorizada	dh	-	-	4
Adubação de manutenção	dh	-	1	1
Transporte da biomassa após destilação para propriedade	vb	-	1	1
Espalhar biomassa na área de cultivo	dh	-	4	4
<b>5. Colheita e beneficiamento</b>				
Colheita do material verde (cortar, separar o ramo principal, juntar e embarcar)	dh	-	18	18
Transporte da matéria-prima para destilaria	vb	-	2	2
Desembarque do material, arrumar e revirar diariamente no secador	dh	-	4	4
Destilação da biomassa seca	dh	-	1,5	1,5
Redestilação do óleo	dh	-	1	1
Transporte do óleo para fábrica	kg	-	80	130
Administração anual da destilaria	vb	-	1	1
<b>6. Materiais</b>				
Prego	kg	1	-	-
Filme plástico	m <sup>2</sup>	140	-	-
Enxada	un	1	-	-
Foice	un	1	-	-

Continua...

**Tabela 2.** Continuação.

Discriminação	un	Anos		
		0	1	Demais anos
Semente pimenta longa	g	6	-	-
Copinhos	mil	10,5	-	-
Pulverizador costal – equiv. aluguel	de	5	-	-
Regador plástico	un	1	-	-
Graxeiro	de	-	2	6
Graxa	kg	-	0,2	0,2
Gasolina	L	-	14	28
Óleo 2T	L	-	0,7	1,5
Lima chata	un	1	-	-
Óleo diesel	L	-	15	15
Bomba-d'água elétrica	de	-	2	2
Caixa-d'água (5 mil litros)	de	-	2	2
Uréia	kg	-	30	30
Superfosfato triplo	kg	100	5	5
Cloreto de potássio	kg	-	15	15
Regador plástico	un	1	-	-
Roçadeira motorizada - M FS 160 – equiv. aluguel	de	-	2	6
Fungicida	kg	0,5	-	-
Inseticida	L	0,5	-	-
Carroça + boi – equiv. aluguel	de	1,5	1,5	1,5
Motor diesel – equiv. aluguel	de	-	2	2
Destilador – equiv. aluguel	de	-	1,5	1,5
Redestilação do óleo – equiv. aluguel	de	-	1	2
Luva de borracha	un	1	-	-
Máscara com filtro	un	1	-	-
Proteção de pernas	un	1	-	-
Galpão (secador) – equiv. aluguel	di	-	4	4
7. Produção anual				
Óleo essencial	kg	-	80	130

Onde: de = dia/equipamento; dh = dia/homem; kg = quilograma; L = litro; g = grama; m<sup>2</sup> = metro quadrado; un = unidade; di = dia/infra-estrutura; vb = verba.

Considerou-se a área de 1 ha de pimenta longa e uma destilaria com capacidade para beneficiar 100 ha de pimenta longa. As produções anuais foram estimadas em 80 e 130 kg/ha, para o primeiro e demais anos de produções, respectivamente. Para análise, utilizou-se o valor de R\$ 13,00 como referência (diária local), que é o valor de mercado da diária no meio rural da região. Os valores dos custos e receitas foram atualizados com taxa de desconto de 6% ao ano, que representa o custo de oportunidade do capital. Para o levantamento dos custos foram considerados os custos operacionais para produção da matéria-prima e beneficiamento, incluindo a administração da infra-estrutura e comercialização. Foram considerados o valor do investimento, o custo da conservação da infra-estrutura, máquinas e equipamentos, vida útil e seu tempo de utilização na atividade.

A receita corresponde à venda do óleo essencial a R\$ 17,50/kg, os preços dos fatores considerados foram os de mercado, válidos para dezembro de 2002, e o horizonte temporal de análise foi de 8 anos.

Na análise dos indicadores de rentabilidade, o VPL que representa a diferença das receitas com os custos anuais, durante a vida útil do projeto, foi de R\$ 5.220,60. A relação benefício-custo apresentou valor igual a 1,65. Portanto, no aspecto financeiro, o projeto é viável, mesmo com a elevação das despesas em 65% ou diminuição das receitas na ordem de 40%.

#### Referências Bibliográficas

CAVALCANTE, M. J. B.; RITZINGER, C. H. S. P.; BERGO, C. L. Uso da solarização do solo no controle da murcha-bacteriana (*Ralstonia solanacearum*) no cultivo de pimenta longa (*Piper hispidinervum*) em Vila Extrema-RO. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, 24 agosto 1999, p. 248. Suplemento.

CORDEIRO, D. G.; AMARAL, E. F. do; BATISTA, E. M.

**Características do solo nos locais de ocorrência de populações nativas de pimenta longa no Acre.** Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 1999. 2 p. (Embrapa Acre. Pesquisa em Andamento, 152).

FRENCH, E. R. **Control integrado de la marchitez bacteriana de la papa.** CIP Circular, [s.l.], p. 8-12, junio, 1994.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BATISTA, G. C. de; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D. **Manual de entomologia agrícola.** 2. ed. São Paulo: Ceres, 1988. 649 p.

KIMURA, O.; DO CARMO, M. G. F. Doenças causadas por bactérias em pimentão. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 184, p. 66-73, 1996.

LOPES, C. A. Ecologia de *Pseudomonas salanacearum*. In: TALLER SOBRE ENFERMIDADES BACTERIANAS DE LA PAPA, 1993, Brasília, DF. **Enfermidades bacterianas de la papa: memórias...** Brasília: Embrapa-CNPH, 1993. p. 17-22.

LOPES, C. A.; QUEZADO-SOARES, A. M. **Doenças bacterianas das hortaliças: diagnose e controle.** Brasília: Embrapa-CNPH, 1997. 70 p.

LOPES, C. A.; POLTRONIERI, L. S.; ALBUQUERQUE, F. C.; TRINDADE, D. A murcha bacteriana em pimenta longa. **Horticultura Brasileira**, resumo n. 140, 1997.

MESQUITA, C. C. de. **O clima do Estado do Acre.** Rio Branco, AC: IMAC, 1996. 53 p.

MOURA, A. B.; OLIVEIRA, J. R. Doenças causadas por bactérias em tomateiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 184, p. 15-18, 1996.

- PIMENTEL, F. A.; SOUSA, M. de M. M.; SÁ, C. P. de; CABRAL, W. G.; SILVA, M. R. da; PINHEIRO, P. S. N.; BASTOS, R. M. **Recomendações básicas para o cultivo da pimenta longa (*Piper hispidinervum*) no Estado do Acre.** Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 1998. 14 p. (Embrapa Acre. Circular Técnica, 28).
- POLTRONIERI, L. S.; ALBUQUERQUE, F. C.; TRINDADE, D. R.; POLTRONIERI, M. C.; ROCHA NETO, O. G. da. Incidência de doenças em pimenta longa (*Piper hispidinervium*) nos estados do Acre e Pará. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 658, p. 345, 1997. Suplemento.
- POLTRONIERI, L. S.; ALBUQUERQUE, F. C.; TRINDADE, D. R.; POLTRONIERI, M. C.; ROCHA NETO, O. G. da. **Doenças da pimenta longa (*Piper hispidinervium* C.DC.).** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 1998. 10 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado Técnico, 80).
- RIBEIRO, A. G. O clima do estado do Acre. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, v. 35, p. 112-141, out./dez. 1971.
- SÁ, C. P. de; PIMENTEL, F. A.; SANTOS, J. C. dos; NASCIMENTO, G. C. do; GOMES, F. C. da R. **Coefficientes técnicos e avaliação econômica do sistema de produção da pimenta longa no Acre.** Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2002, 5 p. (Embrapa Acre. Comunicado Técnico, 154).
- TAKATSU, A.; LOPES, C. A. Murcha-bacteriana em hortaliças: avanços científicos e perspectivas de controle. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 15, p. 170-177, 1997. Palestra. Suplemento.
- THOMAZINI, M. J. **Levantamento da entomofauna associada à pimenta longa no Estado do Acre.** Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 1999. 3 p. (Embrapa Acre. Pesquisa em Andamento, 143).
- THOMAZINI, M. J.; THOMAZINI, A. P. de B. W. Diversidade de abelhas (Hymenoptera: Apoidea) em inflorescências de *Piper hispidinervum* (C.DC.). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 27-34, 2002.